

**LİTYUM TABANLI BATARYA PAKETLERİ İÇİN
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Şahin SOYDAŞ

**LİTYUM TABANLI BATARYA PAKETLERİ İÇİN
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**

Şahin SOYDAŞ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Şahin SOYDAŞ tarafından hazırlanan "LİTYUM TABANLI BATARYA PAKETLERİ İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Can Bülent FİDAN

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 26/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd.Doç.Dr. Can Bülent FİDAN (KBÜ)



Üye : Yrd.Doç.Dr. İbrahim ALIŞKAN (BEÜ)



Üye : Yrd.Doç.Dr. Hüseyin DEMİREL(KBÜ)



.../.../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Şahin SOYDAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LİTYUM TABANLI BATARYA PAKETLERİ İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Şahin SOYDAŞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Can Bülent FİDAN

Haziran 2015, 95 sayfa

Günümüzde enerji ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Buna karşın fosil yakıt rezervi gittikçe azalmaktadır. Sınırlı enerji kaynakları insanları yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya teşvik etmiştir. Bu bağlamda elektrikli araçlara olan ilgi günden güne artmaktadır. Çevre kirliliği ile mücadelede ve doğal kaynakların korunması kapsamında, elektrikli araçlar başlıca araştırma konularından birisi haline gelmiş ve elektrikli araçlar tercih edilmeye başlanmıştır.

Günümüzde elektrikli araçların oranı gittikçe artması nedeniyle elektrikli arabaların enerji kaynağı olan bataryalarında önemi gittikçe artmaktadır. Bu önemi artan bataryalar arasında enerji yoğunluğu nedeniyle lityum tabanlı (lityum-polimer, lityum-iyon, lityum demir fosfat, vb.) bataryalar elektrikli araçlarda ve güneş arabalarında popülaritesi artmıştır. Fakat bu bataryaları kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Çünkü bu batarya hücreleri Batarya Yönetim Sistemi (BYS) denilen ek

koruma devrelerine ihtiyaç duyarlar. Her bir batarya hücresinin şarj-deşarj döngülerini, sıcaklıklarını, voltajlarını ve akımlarını kontrol eden Batarya Yönetim Sistemleri lityum batarya hücrelerini sağlıklı ve güvenli kullanılabilmesi için çok önemlidir. Batarya Yönetim Sistemlerinin geliştirilmesi ve verimlerinin artırılması için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Bu tez kapsamında lityum tabanlı batarya hücreleri incelenmiş, batarya yönetim sistemleri araştırılmış ve anlatılmıştır. Bu tezde batarya yönetim sistemlerinin dengeleme metotlarından olan aktif veya pasif hücre dengeleme metotları kullanılarak çeşitli tasarımlar yapılmıştır. Yapılan bu tasarımların bir kaç tanesi çeşitli güneş enerjili araç yarışları ve elektrikli araba yarışmalarında test edilmiştir. Bu testlerin tamamı başarı ile sonuçlanarak sağlıklı batarya kullanımı sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Batarya yönetim sistemi, lityum piller, pasif dengeleme, aktif dengeleme, elektrikli araçlar.

Bilim Kodu : 905.1.035

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM DESIGN FOR LITHIUM BASED BATTERY PACKS

Şahin SOYDAŞ

**Karabuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronic Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Can Bülent FİDAN

June 2015, 95 pages

Nowadays demand of energy is increasing. However fossil fuel reserves are depleting. Limited energy resources starts to force the people to use renewable energy sources. In this context, the interest in hybrid vehicles increases day by day. The fight against the pollution and the protection of natural resources makes the hybrid car technology has become one of the most important research projects. Also this situation makes the mass interest in hybrid car technology.

Today the count and vary of the hybrid cars are increasing and the batteries which are used in hybrid cars become so important. Lithium based batteries (like lithium-polymer, lithium-ion, lithium-iron phosphate etc.) become more important because of high density power usage. But we have to be careful about using these kinds of batteries. Because these kind of batteries needs to have Battery Management System (BMS) with them for safe usage. The charge-discharge cycles, heat, voltage and the

flow which controlled by the Battery Management System for every battery cells also very important for the safe and long usage. There are studies for developing and long usage about Battery Management System.

In this article lithium-based battery cells were examined and Battery Management Systems are researched and is described. In this article several designs have been made with one of the balancing method of Battery Management Systems which is active and passive cell balancing. Some of these designs have been used and tested in some hybrid car and solar energy using car races. All of those test become successful and positive results have been recorded for long and healthy usage.

Key Words : Battery management system, lithium batteries, passive balancing, active balancing, electric vehicles.

Science Code : 905.1.035

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve uygulamaya geçirilmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, fikirleri ile her konuda bana yol gösteren Sayın Danıőman Hocam Yrd. Doç. Dr. Can Bülent FİDAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve deneyimlerini paylaőan değerli jüri üyelerine teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve beni destekleyen sevgili annem Ümran SOYDAŞ ve babam Öğr.Gör. Hüseyin SOYDAŞ'a teşekkür ederim.

Tez çalıőmam boyunca proje kapsamında gerek fikirsel gerekse manevi yönden desteklerini esirgemeyen SAITEM ekip arkadaşım Pelin OKAY'a teşekkür ederim.

Batarya yönetim sistemi devresini gerçeklemede maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen SAITEM (Sakarya Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama Topluluğu) ekibine teőekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
LİTYUM TABANLI BATARYALAR	6
2.1. LİTYUM-İYON BATARYALAR.....	7
2.1.1. Lityum-İyon Bataryanın Üstünlükleri.....	8
2.1.2. Lityum-İyon Bataryanın Zayıf Noktaları.....	9
2.1.3. Lityum-İyon Bataryaların Kullanımı ve Saklama Koşulları.....	9
2.2. LİTYUM-POLİMER BATARYALAR.....	10
2.2.1. Lityum-Polimer Batarya Genel Özellikleri.....	11
2.2.2. Lityum Polimer Bataryaların Üstünlükleri.....	11
2.2.3. Lityum Polimer Bataryaların Zayıf Noktaları.....	11
2.2.4. Lityum Polimer Bataryada Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	11
2.2.5. Lityum Polimer Bataryaların Raf Ömrü ve Uzun Süre Saklanması	12
2.3. LİTYUM DEMİR FOSFAT BATARYA	13
2.3.1. Lityum Demir Fosfat Bataryaların Özellikleri.....	13
BÖLÜM 3	14
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS).....	14
3.1. PASİF DENGEMELEME YÖNTEMİ.....	15

	<u>Sayfa</u>
3.2. AKTİF DENGELEME YÖNTEMİ	16
3.3. PASİF DENGELEME VE AKTİF DENGELEME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	20
 BÖLÜM 4	 21
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMLARI	21
4.1. TASARIM 1: 6 SERİ BAĞLI BATARYA HÜCRELERİNİN PASİF DENGELEME YÖNTEMİ KULLANILARAK DENGELENMESİ	21
4.1.1. PIC 16F877	21
4.1.2. Pic Analog / Dijital Modülü.....	23
4.1.3. Bataryalar Arası Fark Alma İşlemi	24
4.1.3.1. Op-Amp ile Fark Alma İşlemi	24
4.1.3.2. Gerilim Bölücü Yöntemiyle Fark Almak.....	26
4.1.4. Mikrodenetleyici ile Değerlendirme	27
4.1.5. Batarya Dengeleme Devresi.....	27
4.1.5.1. Optokuplör ile Transistör Tetikleme Yaparak Dengeleme	27
4.1.6. Tasarım 1: 6 Seri BYS Açık Devre Şeması, Baskı Devre Şeması, 3D Görüntüsü ve Tasarımı	29
4.2. TASARIM 2: 6 SERİ BAĞLI BATARYA HÜCRELERİNİN PASİF DENGELEME İLE DENGELENMESİ	31
4.2.1. Batarya Dengeleme Devresi.....	31
4.2.1.1. Optokuplör ile MOSFET Tetikleme Yaparak Dengeleme.....	31
4.2.2. Tasarım 2: 6 Seri BYS Açık Devre Şeması, Baskı Devre Şeması, 3D Görüntüsü ve Tasarımı	36
4.3. TASARIM 3: 6 SERİ BAĞLI BATARYA HÜCRELERİNİN PASİF DENGELEME İLE DENGELENMESİ	38
4.3.1. Bataryalar Arası Fark Alma İşlemi	38
4.3.1.1. INA2134 Op-Amp ile Fark Alma İşlemi	38
4.3.2. Tasarım 3: 6 Seri BYS Açık Devre Şeması, Baskı Devre Şeması, 3D Görüntüsü ve Tasarımı	40
4.4. TASARIM 4: 13 SERİ BAĞLI BATARYA HÜCRELERİNİN PASİF DENGELEME İLE DENGELENMESİ	41
4.4.1. Haberleşme.....	41
4.4.1.1. Can-Bus.....	42
4.4.2. Tasarım 4: 13 Seri BYS Baskı Devre Şeması, 3D Görüntüsü ve Tasarımı.....	49

	<u>Sayfa</u>
4.5. TASARIM 5: AKTİF DENGELEME YÖNTEMİ KULLANILARAK BATARYALARIN DENGELENMESİ	49
4.5.1. Flyback Konvertör Devresi	50
4.5.2. Flyback Konvertör Kontrolcü Devresi	69
4.5.3. Batarya Hücrelerinin Gerilimlerinin Ölçüm Devresi	72
4.5.4. Batarya Seçme Devresi	75
BÖLÜM 5	78
SONUÇLAR	78
EK AÇIKLAMALAR A. PROGRAMLAMA KODU	80
EK AÇIKLAMALAR B. GERÇEKLEŞTİRİLEN TASARIMLARA AİT SANAL VE GERÇEK GÖRÜNTÜLER	84
EK AÇIKLAMALAR C. FLY-BACK TRANSFORMATÖR VERİ SAYFASI	90
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Tesla Model S elektrikli aracı.	2
Şekil 1.2.	Smart marka elektrikli araç.	2
Şekil 1.3.	Tesla elektrikli aracının batarya paketi.	3
Şekil 1.4.	Nissan Leaf elektrikli aracının batarya paketi.	3
Şekil 2.1.	Lityum bataryada farklı C değerlerinde şarj karakteristiği.	7
Şekil 2.2.	Lityum-iyon batarya hücresi.	8
Şekil 2.3.	Lityum-polimer batarya hücresi.	10
Şekil 2.4.	Lityum demir fosfat batarya hücresi.	13
Şekil 3.1.	Direnç ile pasif dengeleme metodu.	15
Şekil 3.2.	Direnç ile pasif dengeleme yöntemi algoritması.	16
Şekil 3.3.	Hareketli kapasitör ile aktif eşitleme tekniği.	17
Şekil 3.4.	Hareketli kapasitör ile aktif eşitleme tekniği algoritması.	17
Şekil 3.5.	PowerPump tekniğinin blok şeması.	18
Şekil 3.6.	Transformatör ile aktif eşitleme tekniği.	19
Şekil 3.7.	Çoklu transformatör ile aktif eşitleme tekniği.	19
Şekil 3.8.	Çoklu sekonder çıkışlı transformatör ile aktif eşitleme tekniği.	20
Şekil 4.1.	PIC 16F877 mikrodenetleyicisinin bacak bağlantısı.	22
Şekil 4.2.	Fark alma devresi.	24
Şekil 4.3.	Op-Amp ve pin diyagramı.	26
Şekil 4.4.	Gerilim Bölücü Devresi	26
Şekil 4.5.	Optokuplör pin yapısı ve örnek bir optokuplör.	28
Şekil 4.6.	Optokuplör ile transistör tetikleme.	29
Şekil 4.7.	Tasarım 1: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi açık şeması.	30
Şekil 4.8.	Tasarım 1: 6'lı batarya yönetim sistemi baskı devre şeması.	31
Şekil 4.9.	MOSFET sembolleri.	33
Şekil 4.10.	Azaltan tip MOSFET yapısı.	34
Şekil 4.11.	Çoğaltan tip MOSFET yapısı.	35
Şekil 4.12.	IRF630 MOSFET ve içyapısı.	35
Şekil 4.13.	Optokuplör ile MOSFET sürme.	36
Şekil 4.14.	Tasarım 2: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi açık şeması.	37

Şekil 4.15. Tasarım 2: 6'lı batarya yönetim sistemi baskı devre şeması.....	38
Şekil 4.16. INA2134 Op-Amp bağlantısı.....	39
Şekil 4.17. Texas Instruments firmasının üretmiş olduğu INA2134 Op-Amp.	39
Şekil 4.18. Tasarım 3: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi açık şeması.	40
Şekil 4.19. Tasarım 3: 6'lı batarya yönetim sistemi baskı devre şeması.....	41
Şekil 4.20. Can-Bus ISO/OSI Reference.	43
Şekil 4.21. Can-Bus iletişim protokolü.....	48
Şekil 4.22. Can-Bus iletişim hattı.	48
Şekil 4.23. Tasarım 4: 13'lü batarya yönetim sistemi baskı devre şeması.	49
Şekil 4.24. Flyback güç kaynağının temel güç devresi.....	51
Şekil 4.25. Flyback konvertör grafikleri.	52
Şekil 4.26. 20 KHz çalışma frekansında Vds gerilim grafiği.	53
Şekil 4.27. 20 KHz çalışma frekansında verimi grafiği.	53
Şekil 4.28. 25 KHz çalışma frekansında Vds gerilim grafiği.	54
Şekil 4.29. 25 KHz çalışma frekansında verimi grafiği.	54
Şekil 4.30. 30 KHz çalışma frekansında Vds gerilim grafiği.	55
Şekil 4.31. 30 KHz çalışma frekansında verimi grafiği.	55
Şekil 4.32. 40 KHz çalışma frekansında Vds gerilim grafiği.	56
Şekil 4.33. 40 KHz çalışma frekansında verimi grafiği.	56
Şekil 4.34. %20 görev çevrim süresinde Vds gerilim grafiği.	57
Şekil 4.35. %20 görev çevrim süresinde çıkış değerleri.	57
Şekil 4.36. %30 görev çevrim süresinde Vds gerilim grafiği.	58
Şekil 4.37. %30 görev çevrim süresinde çıkış değerleri.	58
Şekil 4.38. %35 görev çevrim süresinde Vds gerilim grafiği.	59
Şekil 4.39. %35 görev çevrim süresinde çıkış değerleri.	59
Şekil 4.40. %44 görev çevrim süresinde Vds gerilim grafiği.	60
Şekil 4.41. %44 görev çevrim süresinde çıkış değerleri.	60
Şekil 4.42. IRFP460 kullanıldığında Vds gerilim grafiği.	61
Şekil 4.43. IRFP460 kullanıldığında çıkış değerleri.	61
Şekil 4.44. IRFP460 kullanıldığında verim grafiği.....	62
Şekil 4.45. IRF540Z kullanıldığında Vds gerilim grafiği.....	62
Şekil 4.46. IRF540Z kullanıldığında çıkış değerleri.....	63
Şekil 4.47. IRF540Z kullanıldığında verim grafiği.....	63

Sayfa

Şekil 4.48. IRF540N kullanıldığında Vds gerilim grafiği.	64
Şekil 4.49. IRF540N kullanıldığında çıkış değerleri.	64
Şekil 4.50. IRF540N kullanıldığında verim grafiği.	65
Şekil 4.51. IRF630 kullanıldığında Vds gerilim grafiği.	65
Şekil 4.52. IRF630 kullanıldığında çıkış değerleri.	66
Şekil 4.53. IRF630 kullanıldığında verim grafiği.	66
Şekil 4.54. Flyback konvertör devresi.	67
Şekil 4.55. Flyback konvertör devresi baskı devre şeması.	68
Şekil 4.56. Flyback konvertör devresinin osilaskop çıktısı(Sarı PWM sinyali, Mavi Vds voltajı).	68
Şekil 4.57. Flyback konvertör kontrol devresi.	70
Şekil 4.58. Flyback konvertör kontrol devresi baskı devre şeması.	72
Şekil 4.59. Hücre gerilimlerini ölçüm devresi.	73
Şekil 4.60. Hücre gerilimlerini ölçüm devresi baskı devre şeması.	74
Şekil 4.61. Röleli batarya hücresi seçme devresi.	76
Şekil 4.62. Batarya seçme devresi baskı devre şeması.	77
Şekil EK B.1. Tasarım 1: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi sanal görüntüsü.	85
Şekil EK B.2. Tasarım 1: 6 hücreli batarya yönetim sistemi devresi fotoğrafı.	85
Şekil EK B.3. Tasarım 2: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi sanal görüntüsü.	85
Şekil EK B.4. Tasarım 2: 6 hücreli batarya yönetim sistemi devresi fotoğrafı.	86
Şekil EK B.5. Tasarım 3: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi sanal görüntüsü.	86
Şekil EK B.6. Tasarım 3: 6 hücreli batarya yönetim sistemi devresi fotoğrafı.	86
Şekil EK B.7. Tasarım 4: 13'lü batarya yönetim sistemi devresi sanal görüntüsü. ...	87
Şekil EK B.8. Tasarım 4: 13 hücreli batarya yönetim sistemi devresi fotoğrafı.	87
Şekil EK B.9. Flyback konvertör devresi sanal görüntüsü.	88
Şekil EK B.10. Flyback konvertör devresi.	88
Şekil EK B.11. Flyback konvertör kontrol devresi sanal görüntüsü.	88
Şekil EK B.12. Flyback konvertör kontrol devresi.	89
Şekil EK B.13. Hücre gerilimlerini ölçüm devresi sanal görüntüsü.	89
Şekil EK B.14. Hücre gerilimlerini ölçüm devresi.	89
Şekil EK B.15. Batarya seçme devresi sanal görüntüsü.	90
Şekil EK B.16. Batarya seçme devresi.	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Lityum-iyon batarya saklama koşulları.	9
Çizelge 3.1. Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yönteminin karşılaştırılması	20
Çizelge 4.1. PIC 16F877 mikrodnetleyicilerinin genel özellikleri.....	22
Çizelge 4.2. PIC16F877 mikrodnetleyicisinin pinlerinin özellikleri.	23
Çizelge 4.3. Flyback konvertörün değerleri.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

A/D	: Analog Dijital Çevirici
AR&GE	: Araştırma ve Geliştirme
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
BMS	: Battery Management System
CAN	: Controller Area Network
CAN-Bus	: Controller Area Network-Bus (Kontrol Alan Ağı Veri Yolu)
CNG	: Doğalgaz
CO _x	: Karbon Oksit
EA	: Elektrikli Araçlar
EV	: Electric Vehicle
Li-Ion	: Lityum-İyon
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
NO _x	: Azot Oksit
PIC	: Peripheral Interface Controller (Çevresel Denetleyici Arayüzü)
SMD	: Surface-Mount Device
SOC	: Batarya doluluk durumu (State-of-Charge).
SOH	: Batarya sağlık durumu (State-of-Health).
SPI	: Serial Peripheral Interface (Seri Çevreirim Arayüzü)
ZEV	: Sıfır Emisyonlu Araçlar

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, dünyada vazgeçilmez ihtiyaçlardan biridir. Dünya enerji gereksiniminin büyük bir kısmını fosil enerji (petrol, doğalgaz, kömür vb.) kaynaklarından karşılamaktadır. Dünya genelinde artan nüfusa bağlı olarak harcanan enerji miktarı artarken, fosil yakıt rezervlerinin miktarı gittikçe azalmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının rezervlerinin gün geçtikçe azaldığı ve oluşturduğu çevresel sorunlar da herkesçe bilinmektedir. Fosil enerji kaynaklarının azalması hem enerji verimliliğini ön plana çıkartmış hem de alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmıştır. En önemli fosil enerji kaynaklarının başında gelen petrol rezervlerinin azalması, fiyatının sürekli artması en çok ulaşım ve otomotiv sektörünü etkilemektedir. Otomotiv sektörü bu sebeple çeşitli çözüm arayışlarına girmiştir.

Otomotiv sektöründe çözüm arayışları iki farklı gruba ayrılabilir. Birincisi yine fosil yakıtlardan oluşan Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG), Doğalgaz (CNG), Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG), Metanol, Etanol gibi benzin/dizel yakıtı göre daha az partikül, daha az CO_x ve NO_x emisyonu ve daha az Kurşun (Pb) açığa çıkaran yakıtların kullanımının yaygınlaşması. Diğeri ise Sıfır Emisyonlu Araçlar (ZEV) olarak kabul edilen Elektrikli Araçlar (EV) [1].

Bu nedenle elektrikli araçların kullanımı iyice yaygınlaşmaya başlamıştır. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de görülmektedir. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte batarya, elektrik motoru ve güç elektroniği konularında hem firmaların araştırma ve geliştirme (AR&GE) faaliyetleri hem de literatürde bilimsel çalışmalar artarak devam etmektedir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinde, elektrikli araçlarda, havacılık ve uzay teknolojisinde, her türlü taşınabilir cihazlardan cep telefonlarına, acil durum

aydınlatma sistemlerinden medikal cihazlara kadar yüksek enerji kapasitesine ihtiyaç duyulan, tamamen batarya veya batarya desteğiyle çalışması için tasarlanmış sistemlerde, lityum tabanlı batarya hücreleriyle oluşturulmuş batarya paketleri kullanımı yaygın bir uygulamadır. Bu tür sistemlerde lityum tabanlı batarya hücreleri kullanılmasının en büyük nedenlerinden biri yüksek enerji yoğunluklarına sahip olmalarıdır (enerji/ağırlık oranının yüksek olmasıdır). Lityum tabanlı bataryalar kapasite, enerji yoğunluğu ve ağırlık bakımından halen geliştirilmektedir. Çeşitli kimyasal ürünlerle verimli ve karakteristiği bakımından çeşitli uygulamalar için özelleştirilmiş bataryalar üretilmesi amacıyla çalışmalar sürmektedir.



Şekil 1.1. Tesla Model S elektrikli aracı.



Şekil 1.2. Smart marka elektrikli araç.

Yüksek enerji kapasiteleri elde etmek için, batarya hücreleri birbirlerine seri ve paralel bağlanarak, istenilen gerilim seviyesinde istenilen kapasite ayarlanmaya çalışılır. Şekil 1.3 ve Şekil 1.4’de görülmektedir.



Şekil 1.3. Tesla elektrikli aracının batarya paketi.



Şekil 1.4. Nissan Leaf elektrikli aracının batarya paketi.

Fakat batarya üretim süreci, çoğu seri üretim ürünlerinde de olduğu gibi, belirli toleranslar çerçevesinde gerçekleşir. Bu toleranslar, bataryanın kimyasında ve bataryanın fiziksel özelliklerinde çok küçük farklılıklara neden olur. Bu değişiklikler yüksek kapasiteli batarya paketleri tasarımlarında, yani seri ve paralel grupların çok sayıda olduğu paketlerde, kullanım şekline bağlı olarak hücrelerin elektriksel özelliklerinde farklılık göstermeye başlar. Bu farklılıklar hücrelerde şarj ve deşarj işlemleri sırasında aşırı ısınma, şişme, kimyasalın hücre dışına akması şeklinde

olabilir. Bu bozulmaların önüne geçilemediği hücrelerde ise zamana ve kullanıma bağlı olarak, hücrelerin alev alması durumları da oluşabilir [2]. Bu nedenle lityum tabanlı pilleri sağlıklı ve verimli kullanabilmek için batarya yönetim sistemlerine ihtiyaç vardır. Batarya yönetim sistemleri sayesinde lityum tabanlı piller daha güvenli bir şekilde kullanılabilir.

Batarya yönetim sisteminde, temel olarak batarya paketinde bulunan tüm hücrelerin gerilimleri izlenir, batarya paketinin akımı ölçülür, tüm hücrelerin sıcaklıkları izlenir ve çeşitli hesaplamalar yapılarak kullanıcıya batarya paketi hakkında bilgi vermeye çalışılır. Elde edilen bilgiler sonucunda batarya hücrelerinde pasif veya aktif dengeleme ile birbirleri arasındaki eşitsizlikler giderilmeye çalışılır [2]. Bu yöntemler sayesinde lityum tabanlı pillerde şarj ve deşarj güvenliği sağlanmış olur.

Bu çalışmada elektrikli araçlar için kullanılan lityum bataryalar incelenmiş ve batarya yönetim sistemleri tasarlanmıştır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar şu şekildedir: Bae ve diğerleri; Can-Bus haberleşme protokolünü Master-Slave tipi haberleşmesi olan DSP tabanlı batarya yönetim sistemi geliştirmek için kullanmıştır. Ayrıca 24 batarya hücresi ölçümü için 4 Slave-1 Master geliştirmişlerdir. Toplam güç ölçümü miktarı 1,5 kW; 316,8 Volt; 5 Amperdir. Master ve Slave arasındaki Can-Bus haberleşmesini ve SOC simülasyon tahminini Matlab ve Simulink kullanarak test etmişlerdir [3].

Zheng ve diğerleri, Elektrikli araçlar için Can-Bus tabanlı lityum iyon batarya hücrelerini dengeleyebilen batarya yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu batarya yönetim sisteminde 4 Slave 1 Master modül kullanmışlardır. Her Slave modül 18-22 batarya hücresini dengelemektedir. Geliştirilen bu batarya yönetim sistemi uygun örnek devre ile batarya hücrelerinin gerilimi, akımı ve sıcaklığının ölçümünü yapabilmektedir. Ayrıca batarya State-of-Charge'ını, kalman filtresine dayalı State of Charge tahmin stratejisi yardımıyla tahmin etmişlerdir. Geliştirilen bu BMS Tianjin Qingyuan A.Ş tarafından üretilen elektrikli arabada başarıyla kullanılmıştır [4].

Chatzakis ve diğeri, SPI haberleşme kullanarak tasarladıkları smart batarya modüller arası haberleşmeyi sağlamışlardır. Dallas DS2250T mikrokontrolör modülün yönettiği smart batarya modüllerde analog dijital konvertör multiplexerla çoğullanarak sensörlerden ölçüm yapmaktadır. Ayrıca smart batarya modüller DS1624 entegresi ile sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Sistem seri port aracılığıyla bilgisayar ile haberleşmektedir [5].

Kim ve diğeri; 25 Ah'lık 20 seri lityum iyon batarya hücresinden oluşan batarya paketi üzerinde çalışmışlardır. Elektrikli araçlar için kabloların oluşturacağı karışıklığı önlemek amacıyla tek bir batarya yönetim sistemi yerine birbirleriyle haberleşen batarya yönetim sistemlerinden oluşan yapıların kullanılmasını tercih etmişlerdir. Tasarladıkları batarya yönetim sistemi master-slave ilişkisine dayalı haberleşme ile voltaj ölçümü sıcaklık ölçümü yüksek gerilim ve aşırı akım koruması hücre dengeleme fonksiyonlarını gerçekleştirebilmektedir [6].

Reynaud ve diğeri; fotovoltaik uygulamalarda kullanılan lityum iyon bataryalar için aktif dengeleme yapabilen batarya yönetim sistemleri üzerinde durup MPPT ile birlikte çalışmışlardır. 10 Ah'lık 6 seri lityum iyon batarya hücresini buck-boost konvertör topolojisi ile aktif dengeleme yapmışlardır. Sistemde konvertör kontrolü için PIC 18F6585 mikro-kontrolör kullanmışlardır. Tasarımını yaptıkları buck-boost konvertörde çift yönlü dengelemeyi amaçlamışlardır. Kullanılan buck-boost konvertör eşitleme süresini kısaltmaktadır [7].

Nafiz ve diğeri; Şarj dengeleme sistemleri için fly-back konvertör tasarımları yapmışlardır. Fly-back konvertör topolojisi olarak çift yönlü fly-back konvertör topolojisini incelemişlerdir. Sistem batarya hücrelerini Cell-to-Module aktif dengeleme metodu ile dengelemektedir. Fly-back konvertörün kontrolünde PIC 18F2520 mikro-denetleyicisini kullanmışlardır. Sistem RS485 haberleşme yapabilmekte bağlı olduğu batarya hücresinin gerilimlerini, primer ve sekonder akımlarını ölçebilmektedir. Devre kaçak endüktansları ve MOSFET'in iç direnci nedeni ile %75 verime sahiptir [8].

BÖLÜM 2

LİTYUM TABANLI BATARYALAR

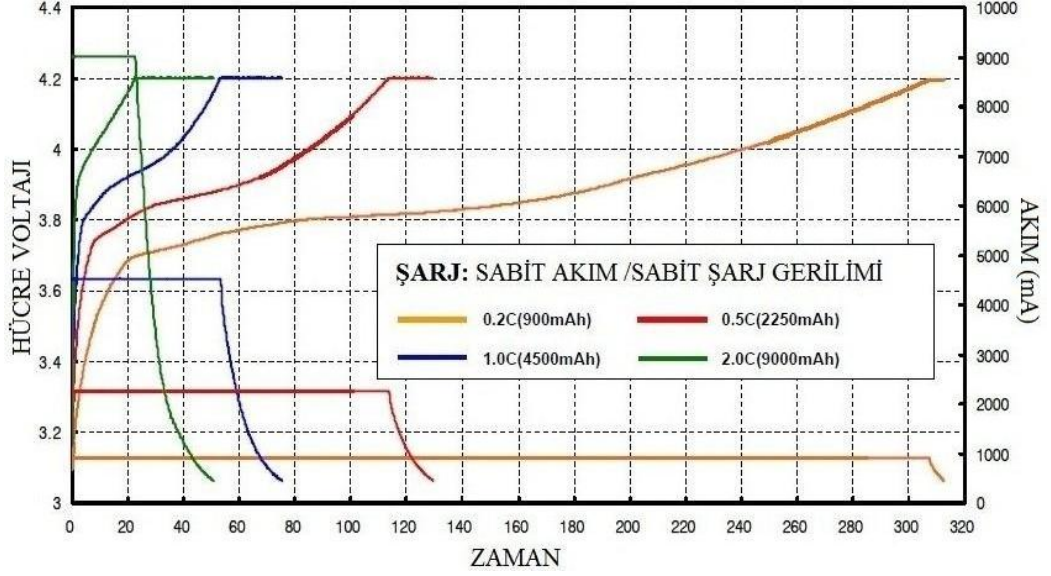
Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo eden, istenildiğinde bunu elektrik enerjisi olarak araçlara veren elektrik enerjisi kaynağıdır. Batarya hücreleri birbirine seri ve paralel olarak bağlanılabilir. Seri bağlanması durumunda voltaj artar, paralel bağlanmasında ise akım artar.

Elektrikli araçların en önemli parçalarından birisi bataryalarıdır. Halen kullanılmakta olan çok çeşitli batarya çeşitleri mevcuttur. Bunlardan bilinen ve yaygın kullanılanlar Kurşun-Asit Batarya (Pb), Nikel-Çinko Batarya (NiZn), Lityum-İyon Batarya (Li-Ion), Lityum Polimer Batarya, Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄). Bu çalışmada Lityum tabanlı bataryalar incelenmiştir.

Lityum-Polimer Bataryaların C Değeri

Genel bir batarya terimi olan C değeri bataryanın elektrik yükünü hangi hızla boşaltabileceğini gösterir. 1C kapasitesi bataryanın bir saatte verebileceği akımdır. C değeri arttıkça bataryanın elektrik yükünü boşaltma hızı artar. Örnek olarak 4,500mAh kapasitede ve 5C hücre varsa maksimum $4,500\text{mA} \times 5 = 22,5$ Amper verebilir. Bu amper değerine kadar bir motor kullanılabilir.

Lityum bataryalarda iki adet C değeri vardır. Bunlardan biri anlık C değeri, diğeri de devamlı C değeridir. Batarya seçilirken devamlı C değerine bakılmalıdır. Anlık C değeri bataryanın anlık olarak verebileceği akımı göstermektedir. Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Lityum bataryada farklı C değerlerinde şarj karakteristiği.

2.1. LİTYUM-İYON BATARYALAR

Lityum-iyon bataryaların enerji yoğunluğu nikel-kadmiyum bataryalara göre yaklaşık iki kat daha fazladır. Yapılacak ar-ge çalışmalarıyla daha da artırılabilir. 3.6 volt olan hücre gerilimi tek hücreli batarya yapılmasına olanak sağlıyor.

Lityum-iyon bataryalar diğer bataryalara göre en az bakım gerektiren bataryalardır. Nikellerin aksine batarya ömrünü artırmak için deşarj-şarj döngüsü gerektirmemektedir. Nikellere göre kendi kendine deşarj olması hızlı olduğundan düşük akım ve uzun dayanıklılık gerektiren devrelerde kullanılır. Lityum-iyonlar çevreye en az zarar veren kimyasallar ve metalleri içerir.

Lityum-iyon batarya genel özellikleri:

- ✓ Yapılarından dolayı fiziksel olarak dayanıklıdır. Bu yüzden kazalara karşı da dayanıklıdır. Elektrikli arabalarda ve helikopterlerde kullanılır.
- ✓ 300-500 kere şarj edilebilir.
- ✓ Maksimum akım kapasitesi 3C'dir. En iyi çalışma akımı 1C'dir.
- ✓ Periyodik olarak şarj edilmesine gerek yoktur. Şekil 2.2'de örnek bir lityum-iyon bataryası gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Lityum-iyon batarya hücresi.

Lityum-iyonların artılarının yanında, bir takım eksileri de vardır. Yapı olarak narin ve kırılığandır bu yüzden şarj edilirken sorun çıkartabilmektedirler. Güvenli olarak şarj edilmesi için batarya yönetim sistemi tarzı özel koruma devreleri gerekmektedir. Batarya yönetim sistemi devresi şarj sırasında gerilimi belirli bir noktada sınırlar ve belli bir seviyenin altına inmesine de izin vermez. Bataryaların sıcaklık kontrolü de yapılarak sıkıntılı hücrenin şarjı kesilebilmektedir.

Bu batarya türü, diğerlerine göre erken yaşlanmaktadır ve birinci yılın sonunda kullanılmasa bile verim kaybı yaşanabilmektedir. 2-3 yıl sonrasında ise sorunlar daha da büyüebilmektedir. Fakat bu verim kaybı lityum-iyona has bir durum değildir.

Bütün bataryalarda olduğu gibi lityum-iyon bataryaların da ömrü saklanma sıcaklığıyla değişir. Kullanılmadan saklama yapmak için %40 doluluk seviyesi önerilmektedir.

2.1.1. Lityum-İyon Bataryanın Üstünlükleri

- ✓ Yüksek enerji yoğunluğu ve araştırmalarla daha da yüksek yoğunluğa çıkma olasılığına sahiptir.
- ✓ İlk şarjda uzun şarj gerektirmez. Normal şarj edilir gibi başlanabilir.
- ✓ Düşük seviyede kendi kendine boşalabilmektedir.

- ✓ Bakımı yok denecek kadar azdır, periyodik şarj-deşarj döngüsü gerektirmemektedir.
- ✓ Özel yapılmış Lityum bataryalar yüksek akım gerektiren sistemlere de cevap verebilmektedir.

2.1.2. Lityum-İyon Bataryanın Zayıf Noktaları

- ✓ Şarj-deşarj sırasında akım ve gerilimin güvenli sınırdan tutulması için batarya yönetim sistemi devresi kullanımı gerektirmektedir.
- ✓ Hiç kullanılmasa bile yaşlanma etkisi gösterir.
- ✓ Nikel bataryalara göre 40 kat daha fazla maliyetle üretilmektedir.
- ✓ Son halini almadığı için bataryanın içeriği sürekli olarak değiştirilmektedir.

2.1.3. Lityum-İyon Bataryaların Kullanımı ve Saklama Koşulları

İlk kullanımda batarya %40 dolu vaziyette gelir ve şarj edilir. Bataryanın sürekli şarj altında kalması istenen bir durum değildir. Bu yüzden lityum-iyon piller haftada bir kez %15 seviyesine indirilmelidir. Daha sonra tekrar şarj edilmelidir. %15'in altına hiç indirilmemelidir. Bu durumda bataryanın bir daha şarj edilememesi ihtimali vardır. Bataryalar uzun süre saklanacaksa %100 şarj edilmiş şekilde saklamak iyi bir yöntem değildir. %40 seviyesinde buzdolabında saklanan bir batarya %100 şarj edilip odada saklanan bir bataryaya göre daha uzun ömürlü olacaktır. Eğer daha düşük bir seviyede saklanırsa bataryanın alt gerilim eşiği değerinin altına inerek içerideki dahili koruma devresinin açılarak, kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir. Bataryalar yarım dolu vaziyette soğuk bir ortamda saklanmalıdır. Çizelge 2.1 de farklı saklama koşullarına göre bataryanın bir yılda kaybettiği saklama kapasitesi gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Lityum-iyon batarya saklama koşulları.

Sıcaklık	%40 şarj seviyesi	%100 şarj seviyesi
0° C	%2	%6
25° C	%4	%20
40° C	%15	%35
60° C	%25	%40

2.2. LİTYUM-POLİMER BATARYALAR

Lityum-polimer bataryalar kullanılan elektrolitik içeriği bakımından diğer bataryalara göre farklıdır. İlk yapıldığı yıllarda katı polimer elektrolitik kullanılıyordu. Plastiğe benzer film tabakasından oluşan elektrolit elektriği iletmemesine rağmen iyon değişimine izin veriyordu.

Kuru polimer tasarımı üretim, dayanıklılık ve boyutların küçültülmesi noktasında kolaylık sağlıyordu. Artık yeni tasarımlarda hücre kalınlığı 1mm ye kadar inebilmektedir. Bu kolaylık beraberinde negatif etki de getirmektedir. Polimer piller anlık olarak yüksek akım gerektiren sistemlerde yüksek iç dirençleri sebebiyle cevap verememektedirler. Pil sıcaklığı 60°C'ye çıkarıldığında batarya iç direnci azalmaktadır ama bu da batarya güvenliği açısından riskli bir durumdur.

Bu sorunu ortadan kaldırmak için batarya içerisinde jöleleştirilmiş elektrolitler kullanılmaya başlandı. Piyasada bulunan bataryalarda polietilen veya poliüretandan yapılan süngersi ayırıcılar kullanılmaktadır. Bu yapının içi polimer ile dolduruluyor ve içine elektrolitik doldurulunca, onu emerek jöle haline geliyor.

Lityum-polimer bataryalar düşünüldüğü kadar piyasada tutulmamıştır. Bunun sebebi hem üretim maliyetinin düşürülemediği olması hem de diğer batarya gruplarından çok fazla artışı olmamasıdır. Lityum-polimer bataryalar hala sağladığı güç olarak lityum-iyon bataryaların gerisindedir. Ancak çok ince yapılı bataryaların gerektiği sistemlerde kullanılmaktadır. Şekil 2.3'de lityum-polimer batarya görülmektedir.



Şekil 2.3. Lityum-polimer batarya hücresi.

2.2.1. Lityum-Polimer Batarya Genel Özellikleri

- ✓ 300-500 kez şarj edilebilir.
- ✓ Verebildiği maksimum akım kapasitesi 30C'dir. 10C en ideal çalışma akımıdır.
- ✓ Nominal 3,6V ortalama 3,7V gerilim sağlar.
- ✓ Metal kasa ihtiyacı olmadığı için çok hafiftir.
- ✓ Batarya ömrünü azaltmamak için hücrelerin gerilim 3V'un altına indirilmemelidir.

2.2.2. Lityum Polimer Bataryaların Üstünlükleri

- ✓ Çok ince bir kesite sahiptir. Artık kredi kartının içine sığabilecek kadar küçültülmüştür.
- ✓ Esnek fiziki yapıya sahiptir. Standart bir boyutu yoktur, istenilen her boyutta üretilebilir.
- ✓ Çok hafiftir. Metal kutu gereksinimi yoktur.
- ✓ Gelişmiş güvenliğe sahiptir. Çok fazla şarj edilebilir ve elektrolit sızıntısı yoktur.

2.2.3. Lityum Polimer Bataryaların Zayıf Noktaları

- ✓ Lityum-iyon bataryalara göre daha az enerji yoğunluğu ve daha az şarj-deşarj döngüsüne sahiptir.
- ✓ Standart boyutlarda üretilmemekte, firmaların isteklerine göre üretilmektedir.
- ✓ Lityum-iyon pillere göre daha pahalıdır.

2.2.4. Lityum Polimer Bataryada Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Lityum polimer bataryalar uygun şekilde kullanılmazlarsa patlayıp alev alabilir ve yangın tehlikesi oluşturabilir. Bu yüzden kullanım kurallarına dikkat edilmelidir.

Lityum polimer bataryalar yapı itibari ile hassas bataryalardır. Şarj ve deşarj edilirken dikkat edilmelidir. Diğer batarya çeşitlerinden farklı olarak belirli bir gerilim değerinun üzerine çıktığında yangın tehlikesi oluşturabilmektedir.

- ✓ Her hücrenin gerilimini tek tek ölçüp dengeleyen ve şarj tamamlanınca akımı kesen bir batarya yönetim sistemine ihtiyaç vardır.
- ✓ Her bir hücrenin maksimum gerilimi 4,2 Volt'u geçmemelidir.
- ✓ Bu bataryaları şarj ve deşarj sırasında kontrolsüz bırakmamak gerekir. Yanmaz bir ortamda şarj işlemi yapılmalıdır.
- ✓ Lityum polimer bataryalar çok yüksek güçte enerji depoladıklarından kısa devre yapılmamalıdır. Kısa devre akımı çok yüksektir.
- ✓ Lityum polimer bataryalar özel yanmaz kutularda saklanmalıdır.

2.2.5. Lityum Polimer Bataryaların Raf Ömrü ve Uzun Süre Saklanması

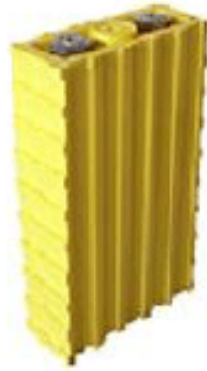
Lityum polimer bataryaların iç direnci raf ömrü konusunda belirleyicidir. Bu konuda iyi ve kötü lityum polimer bataryalar mevcuttur. Batarya teknolojisi gün geçtikçe daha da ilerlemektedir ve iç direnç gittikçe düşmektedir. İç direncin düşmesi, bataryanın raf ömrünün artmasını sağlamaktadır.

Birkaç yıl öncesine kadar lityum polimer bataryaların raf ömrü oldukça kısaydı. Önceki yıllarda hiç kullanılmayan batarya 25°C de saklansa bile her sene kapasitesinden %20 kaybetmekteydi. Yeni teknoloji lityum polimer bataryalar düşük iç dirence sahiptir. Bu da yeni teknoloji lityum polimer bataryaların uzun raf ömrüne sahip olduğunu gösterir.

- ✓ Lityum-polimer bataryalar özel korumalı veya sağlam kutularda saklanmalıdır.
- ✓ Serin ortamlarda saklanmalıdır. Saklama derecesi yaklaşık olarak 15°C'dir.
- ✓ Bataryalar ne tam dolu ne de tam boş olarak saklanmalıdır.
- ✓ Genellikle tavsiye edilen doluluk oranı %40 seviyesidir. Gerilim değeri yaklaşık 3,7 Volt'dur.

2.3. LİTYUM DEMİR FOSFAT BATARYA

Lityum demir fosfat batarya, her hücresi 3.3V nominal voltaja sahip, şarj edilebilir bir batarya türüdür. Zehirli madde içermemesi, ısı kararlılığına sahip olması, elektrokimyasal performansının iyi olması, güvenilir karakteristik özelliklere sahip olması, tekrar dolun ömrünün uzun olması ve yüksek özel kapasitesi sebebi ile elektrikli araçlarda tercih edilmektedir. Şekil 2.4'de lityum demir fosfat batarya hücresi görülmektedir.



Şekil 2.4. Lityum demir fosfat batarya hücresi.

2.3.1. Lityum Demir Fosfat Bataryaların Özellikleri

- ✓ Ortalama 200 wh/kg enerji yoğunluğuna sahiptir.
- ✓ Isıya duyarlılığı azaltılmış, patlama riski en aza indirilmiştir.
- ✓ Tekrar doldurulabilirlik sayısı kurşun asit akülerin on katıdır (2000'den fazla).
- ✓ Hızlı şarj ve deşarj olabilme özelliğine sahiptir (1C'de şarj ve deşarj, 2000 tekrar dolundan sonra %80 kapasiteye düşmektedir).
- ✓ Yüksek deşarj oranı 10C'dir.
- ✓ Şarj konusunda geniş bir toleransa sahip olsa da elektronik devre kullanılmalıdır.
- ✓ Lityum-iyon'lardan 2 kat ağır ve büyüktürler.
- ✓ Geniş çalışma sıcaklığı aralığına sahiptir (-10°C - 60°C).
- ✓ Ağırlıkları, kurşun asit bataryaların ağırlıklarının yarısından daha azdır.
- ✓ Doğal dengeye zararları azdır.

BÖLÜM 3

BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS)

Lityum tabanlı bataryalı sistemlerinde batarya yönetim sisteminin birçok önemli faydası bulunmaktadır. Batarya yönetim sistemi olmadan yapılan şarj ve deşarjların gerçekleşmesi sonucunda bataryalar standart kullanım ömürlerini tamamlayamadan bozulurlar. Batarya yönetim sistemleri, batarya hücrelerinin kullanım ömürlerini uzatmak ve verimini arttırmak için tasarlanmışlardır.

Batarya Yönetim Sistemleri, batarya hücrelerinin şarj ve deşarj işlemleri sırasında batarya paketinin akımı, hücrelerin ayrı ayrı sıcaklık ve gerilimlerinin ölçümlerini yapmaktadır. Batarya yönetim sistemleri, batarya hücrelerinin State of Charge (SOC) durumlarını ve sıcaklıklarını raporlayabilir, batarya hücrelerini yüksek akımdan, yüksek gerilimden ve düşük gerilimden korur, doğru ve güvenilir bir şekilde şarj, deşarj edilmelerini ve güvenilir bir şekilde kullanılmalarını sağlar.

Batarya yönetim sisteminde olması gereken özellikler:

Gerilim: Toplam batarya gerilimini ve her batarya hücresinin gerilimi ölçülür.

Akım: Şarj ve deşarj olurken batarya hücrelerinin ve bütün batarya paketinin üzerinden geçen akım ölçülür.

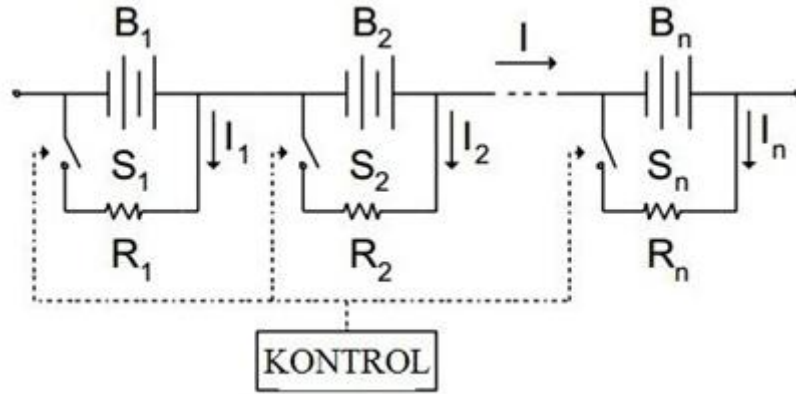
Sıcaklık: Batarya hücrelerinin ve bütün batarya paketinin sıcaklığı ölçülür.

Batarya Ömrü: State of Health (SOH) diye ifade edilir ve % olarak hesaplanır. Teoride bir bataryanın fabrika çıkışında SOH değeri %100'dür ve zamanla azalır. Batarya yönetim sistemleri, batarya hücrelerinden çekilen toplam Ah miktarını, bataryalarda kalan Ah miktarını, SOH değerini ve batarya paketinin kalan enerjisini hesaplayabilir.

Batarya yönetim sisteminin temel amaçlarından biri hücre dengeleme sistemidir. Hücre dengeleme sistemi pasif hücre dengeleme ve aktif hücre dengeleme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Pasif dengeleme sisteminde fazla olan enerji dengeleme direnci üzerinden boşaltılırken, aktif dengeleme sisteminde fazla olan enerji az enerjili olan bataryaya aktarılır.

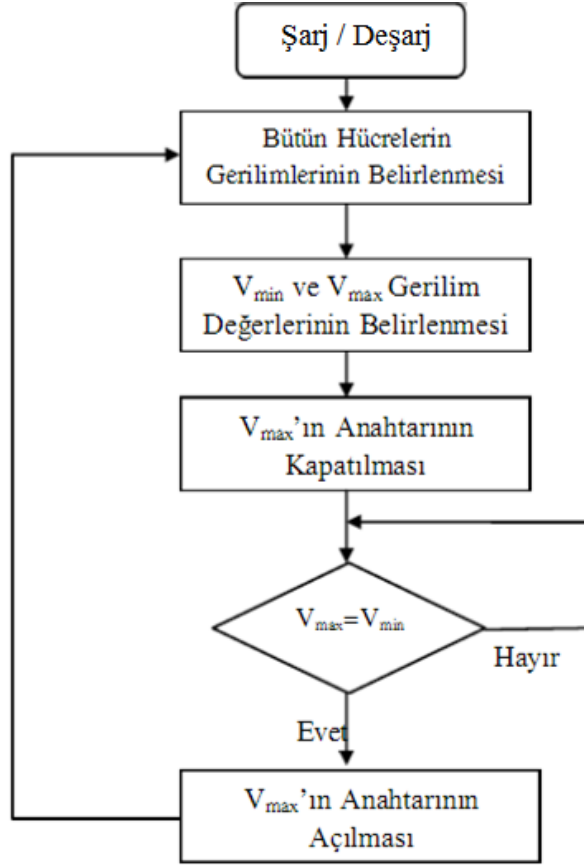
3.1. PASİF DENGELEME YÖNTEMİ

Pasif dengeleme yönteminin temel mantığı şarj sırasında hücrelerde oluşan fazla enerjinin bataryaya bağlı dengeleme dirençleri üzerinden boşaltılması yönündedir. Bu yöntem basitliği ve ucuzluğu sebebiyle yaygın olarak tercih edilir. Bu yöntemde yüksek gerilime sahip hücrelere ait dengeleme dirençleri kısa devre yaptırılarak fazla olan enerji direnç üzerinde harcanarak boşaltılır. Şekil 3.1’de bir kontrol işareti ile dirençlerin yönetimi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Direnç ile pasif dengeleme metodu.

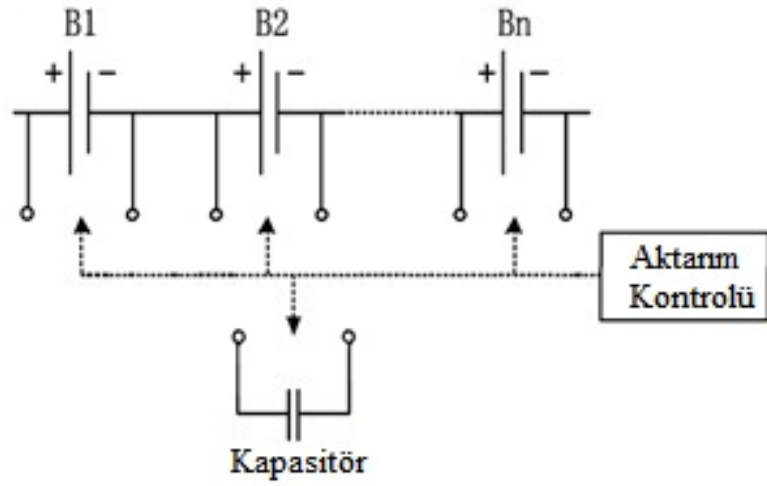
Bu yöntemde dengeleme dirençleri sürekli devreye alınıp çıkarılarak dengeleme işlemi olur. Bu yöntemin verimliliği, dengeleme direnci ve algoritmaya bağlıdır. Fazla enerjinin direnç üzerinden ısı enerjisine dönüştürülmesi bir dezavantajdır. Fakat basitliği ve ucuzluğu nedeniyle güneş arabası, elektrikli araba, elektrikli bisiklet vs. sistemlerde tercih sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Şekil 3.2’de direnç ile dengeleme yapan pasif dengeleme yönteminin algoritma şeması verilmiştir.



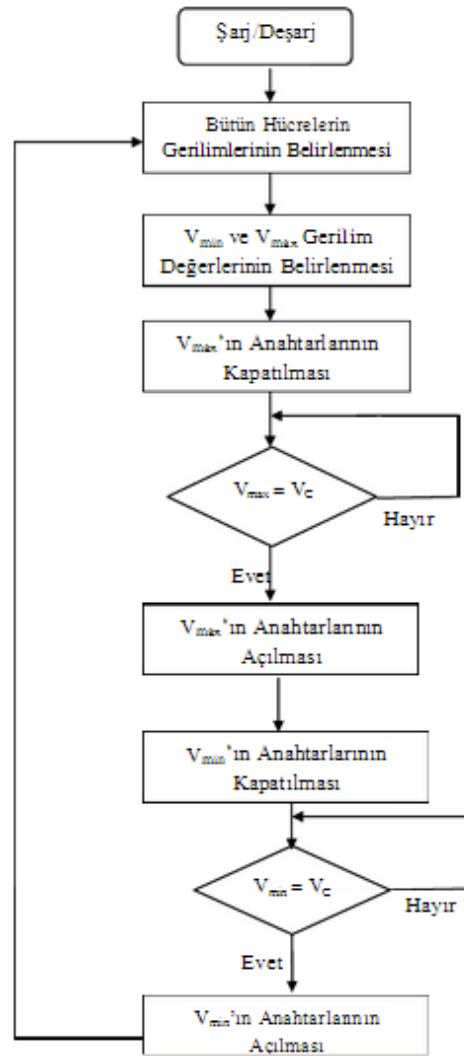
Şekil 3.2. Direnç ile pasif dengeleme yöntemi algoritması.

3.2. AKTİF DENGELEME YÖNTEMİ

Aktif dengeleme yönteminin temel mantığı fazla enerjiye sahip bir hücreden düşük enerjiye sahip hücreye enerji transferidir. Birçok aktif dengeleme metodu mevcuttur. Genelde gerilim taşıma ve enerji dönüşümü olmak üzere iki farklı aktif dengeleme yöntemi mevcuttur. Gerilim taşıma yönteminde seçilen hücreden enerji alınır, depolanır ve diğer bir hücreye iletilir. Gerilim taşıma yönteminde en çok kullanılan metot hareketli kapasitör yöntemidir. Bu yöntemde kapasitörler yüksek voltaj seviyesindeki hücre ile doldurulur ve en düşük voltaj değerindeki hücreye boşaltılır. Bu işlem hücre gerilimleri eşitleninceye kadar kontrollü olarak devam eder. Şekil 3.3'de kapasitörle aktif dengeleme yöntemi gösterilmiştir. Bu metottaki dezavantajlardan biri kapasitenin şarj ve deşarj işlemlerindeki verimliliğidir. Aktarmak istediğimiz enerjinin bir kısmı kapasite üzerinde ve ara elemanlar üzerinde harcanır. Bu durum verimliliğin düşmesine yol açar. Şekil 3.4'de hareketli kapasitör ile aktif eşitleme tekniği algoritması verilmiştir.

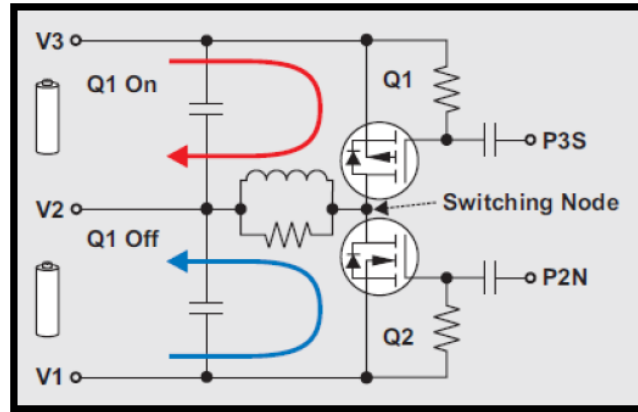


Şekil 3.3. Hareketli kapasitör ile aktif eşitleme tekniği.



Şekil 3.4. Hareketli kapasitör ile aktif eşitleme tekniği algoritması.

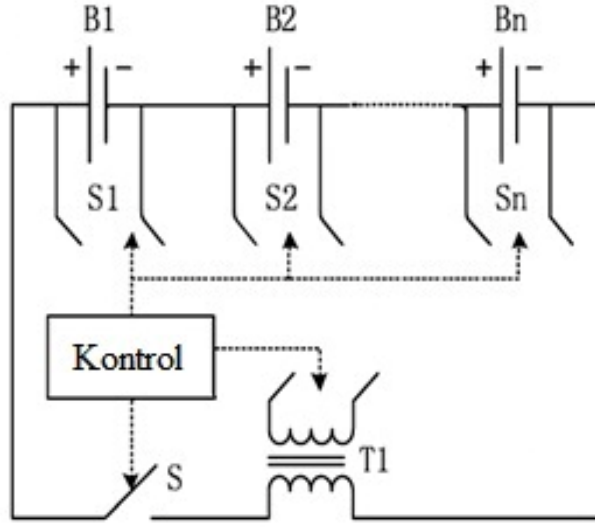
Anahtarlama kondansatör tekniğinin diğer tekniklere göre daha kolay olmasına ve daha iyi bir dengeleme sağlamasına rağmen yavaş sonuç vermesinden dolayı kullanımı azdır. Dengeleme işlemlerinin daha hızlı sonuç vermesi için gerilim yükselteçleriyle de dengeleme işlemi yapılabilmektedir. Şekil 3.5’de PowerPump tekniği denen bir gerilim yükselteci devresi kullanılarak yapılan dengeleme işleminin blok şeması gösterilmiştir. Bu yöntemde bir pildeki enerji boost regülatör yapısı kullanılarak bir başka bataryaya aktarılmaktadır [9].



Şekil 3.5. PowerPump tekniğinin blok şeması.

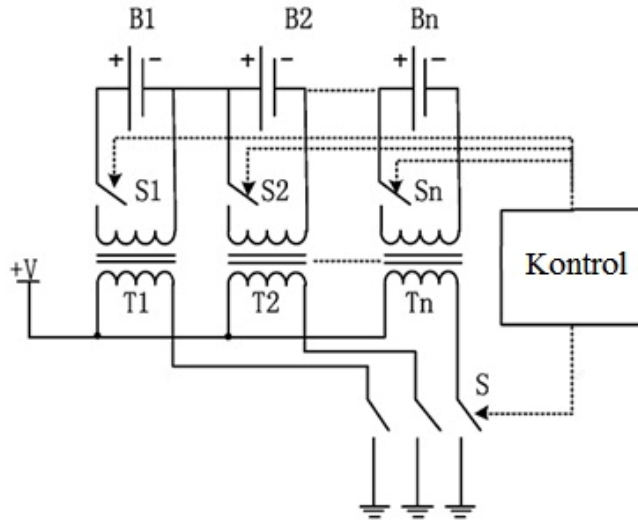
Kapasite ile eşitleme tekniği, PowerPump tekniğinden başka, transformatör yardımı ile enerji aktarımı da yapılabilir. Transformatör ile enerji aktarımdaki temel avantaj, daha yüksek şarj, deşarj verimliliğinin olmasıdır.

Şekil 3.6’deki yöntemde enerji tüm batarya paketinden önce transformatöre aktarılır, transformatörde sarım oranına bağlı olarak voltaj düşürülür ve daha sonra gerilimi en düşük olan hücreye anahtarlar yardımı ile aktarılır. Bu işlem hücre gerilimleri eşitleninceye kadar devam eder. Bu yöntemde transformatörün sarım oranı değiştirilerek tam tersi işlem yapmak da mümkündür. Yani yüksek kapasiteli batarya hücresinden tüm batarya paketine de enerji aktarılabilir.



Şekil 3.6. Transformatör ile aktif eşitleme tekniği.

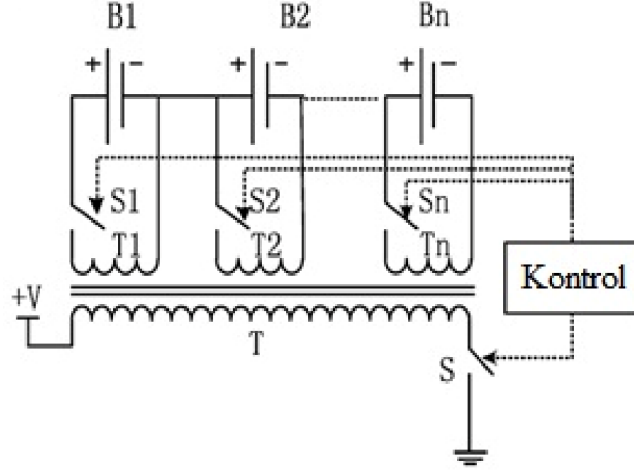
Şekil 3.7’de yöntemde enerji tüm batarya paketinden önce transformatörlere aktarılır, transformatörlerden sarım oranına bağlı olarak voltaj düşürülür ve hücreye aktarılır. Bu yöntemde her hücrenin kendine ait transformatörü vardır. Fakat bu yöntemde maliyet ve kaplayacağı alan fazla olacaktır.



Şekil 3.7. Çoklu transformatör ile aktif eşitleme tekniği.

Aynı yöntem batarya hücresinin adedi kadar sekonder çıkışına sahip tek transformatör ile de yapılabilir. Bu sayede maliyet biraz daha düşürülmüş olur. Şekil

3.8’de çoklu sekonder çıkışına sahip transformatörlü aktif eşitleme devresi şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Çoklu sekonder çıkışlı transformatör ile aktif eşitleme tekniği.

3.3. PASİF DENGELEME VE AKTİF DENGELEME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 3.1. Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yönteminin karşılaştırılması [9].

Aktif Dengeleme Yöntemi	Pasif Dengeleme Yöntemi
Fazla enerjiyi diğer bataryalar üzerine gönderir.	Fazla enerjiyi ısı ile boşa harcar.
	Sistemin gereksiz yere ısınmasına sebep olur.
Karmaşıktır. Çok sayıda kontrol elemanına ihtiyaç duyar.	Basittir. Az sayıda elemanla gerçekleştirilebilir.
Kullanılan elemanların fazlalığından dolayı uzun süre uykuda bekleyen sistemlerde pasif dengeleme daha verimli olabilir.	
Ortalama cell başına 10 birimlik maliyeti vardır.	Ortalama cell başına 1 birimlik maliyeti vardır.
Uykuda harcadığı enerji yaklaşık 50 mW.	Uykuda harcadığı enerji 0 mW a çok yakın.
Yüksek akımlar transfer edildiğinden pasif dengelemeye göre kısa sürer.	Düşük akımlar transfer edildiğinden aktif dengelemeye göre uzun sürer.
Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti yaklaşık 1000 birimdir.	Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti yaklaşık 100 birimdir.

BÖLÜM 4

BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMLARI

Bu tez kapsamında elektrikli araçlar ve güneş enerjili araçlar için çeşitli batarya yönetim sistemleri tasarlanmıştır. Tasarlanan bu batarya yönetim sistemleri çeşitli güneş arabası yarışlarında ve elektrikli araba yarışmalarında denenmiştir. Bu tez çalışmasında aktif ve pasif dengeleme yöntemleri kullanılarak 4 pasif ve 1 aktif dengeleme yöntemine sahip 5 farklı batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır. Yapılan her yeni tasarımda devrelere yenilikler eklenmeye çalışılmıştır.

4.1. TASARIM 1: 6 SERİ BAĞLI BATARYA HÜCRELERİNİN PASİF DENGELEME YÖNTEMİ KULLANILARAK DENGELENMESİ

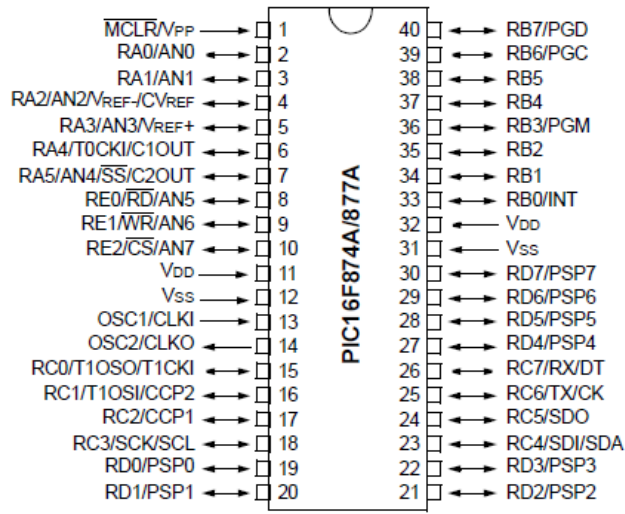
Seri bağlı bataryalar kullanılmaya başlandığında hücreler arasında gerilim farkı oluşur. Bu farkı engellemek için batarya yönetim sistemi kullanılır. Batarya voltaj değerleri, mikrodenetleyicide okunarak değerlendirme algoritması oluşturulur.

4.1.1. PIC 16F877

PIC16F877 yüksek performanslı, CMOS, full-statik, 8 bit mikrodenetleyicidir. Tüm PIC 16/17 mikrodenetleyicileri gibi PIC 16F877 de RISC mimarisini kullanmaktadır. PIC16F87X mikroları birçok esas özelliklere sahiptir. 14 seviyeli, derin küme ve çoklu iç ve dış kesme kaynaklarına sahiptir. İki aşamalı komut hattı, tüm komutların tek bir saykıl ile (çevrimle) işlenmesini sağlamaktadır. Yalnızca bazı özel komutlar 2 saykıl çekerler. Bu komutlar dallanma komutlarıdır.

16F877 mikrodenetleyicisi 4 veya 20 MHz osilatör ile çalışmaktadır. Bu sayede daha hızlı sistemler kurulabilir. 5 adet giriş/çıkış portu (A, B, C, D, E) bulunmaktadır. A portu 6 I/O, B portu 8 I/O, C portu 8 I/O, D portu 8 I/O ve E portu 3 I/O sahiptir. Port

sayısı fazla olduğundan aynı anda LCD, klavye, motor gibi elemanlar çalıştırılabilir. Üç tane zamanlayıcısı bulunur. PIC mikrodenetleyicilerinin en büyük özelliği uyku modu özelliğidir. Bu mod sayesinde işlem yapılmadığı durumlarda, PIC uyku moduna geçerek çok düşük akım çeker. Kullanıcı bir kaç iç ve dış kesmelerle PIC’i uyuma modundan çıkarabilmektedir. Yüksek güvenilirlikli Watchdog Timer kendi bünyesindeki çip üstü RC osilatörü ile yazılımı kilitlemeye karşı korumaktadır. Şekil 4.1’de PIC 16F877’nin bacak bağlantısı, Çizelge 4.1’de genel özellikleri ve Çizelge 4.2’de pin özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1. PIC 16F877 mikrodenetleyicisinin bacak bağlantısı.

Çizelge 4.1. PIC 16F877 mikrodenetleyicilerinin genel özellikleri.

Özellikler	PIC16F877
Çalışma hızı	20Mhz
Program belleği	8Kx14 word Flash ROM
EEPROM belleği	256 byte
Kullanıcı RAM	368 x 8 byte
Giriş / Çıkış port sayısı	33
Timer	Timer0, Timer1, Timer2
A / D çevirici	8 kanal 10 bit
Capture / Compare / PWM	16 bit Capture 16 bit Compare 10 bit PWM çözünürlük
Seri çevresel arayüz	SPI (Master) ve I2C (Master / Slave) modunda SPI portu (senkron seri port)
Paralel slave port	8 bit, harici RD, WR ve CS
USART / SCI	9 bit adresli

Çizelge 4.2. PIC16F877 mikrodenetleyicisinin pinlerinin özellikleri.

Pin Adı	Görevi
OSC1/CLKIN	Osilatör clock girişi (kristal)
OSC2/CLKOUT	Osilatör kristal çıkış ucu
MCLR/Vpp	Resetleme girişi
RA0/AN0 RA1/AN1 RA2/AN2/V _{REF} RA3/ AN3 RA4/TOCK1 RA5/SS/AN4	Port A iki yönlü giriş/çıkış portudur. Analog giriş olarak kullanılabilir. Bu pin TMR0 için clock girişi olarak da kullanılabilir. SSP Slave seçme pini veya analog giriş/çıkış olabilir.
RB0/INT RB1 RB2	Dış kesme girişi olarak seçilir. Port B iki yönlü giriş/çıkış portudur.
RB3/PGM	Düşük akımla programlamada da kullanılabilir.
RB4	Kesme girişi olarak seçilebilir.
RB5	Kesme girişi olarak seçilebilir.
RB6/PGC	Kesme girişi olarak seçilebilir. Seri programlamada clock girişidir.
RB7/PGD	Kesme girişi olarak seçilebilir. Seri programlamada data pinidir.
RC0/T1OSO/T1CK1	Timer1 osc. girişi veya saat girişi olarak kullanılabilir.
RC1/T1OSI/CCP2	Timer1 osc. girişi / Capture2 girişi/Compare2 çıkışı /PWM2 çıkışı
RC2/CCP1	Timer1 osc girişi/ Capture 1 girişi/ Compare 1 çıkışı
RC3/SCK/SCL	/ PWM1 çıkışı
RC4/SDI/SDA	SPI ve I ₂ modunda, seri saat girişi/ çıkışı SPA moda SPI giriş verisi veya I ₂ C moda I/O için kullanılır.
RC5/SDO	SPA moda SPI çıkış verisi için seçilebilir.
RC6/TX/CX	USART asenkron gönderme ya da senkron saat için kullanılır.
RC7/RX/DT	USART asenkron alma veya senkron veri için kullanılır.
	Port C iki yönlü giriş çıkış portudur.
RD0/ PSP0 RD1/PSP1 RD2/PSP2 RD3/PSP3 RD4/PSP4 RD5/PSP5 RD6/PSP6 RD7/PSP7	Port D iki yönlü giriş çıkış portudur. PSP bitleridir.
RE0/RD/AN5	Analog giriş ya da PSP okuma kontrolü olarak kullanılabilir.
RE1/WR/AN6	Analog giriş ya da PSP yazma kontrolü olarak da kullanılabilir.
RE2/CS/AN7	Analog giriş ya da PSP seçim kontrolü için kullanılabilir.
V _{SS}	Şase
V _{DD}	Pozitif kaynak

4.1.2. Pic Analog / Dijital Modülü

Doğada doğal olarak bulunan tüm sistemler analog düzendedir. Kullandığımız mikrodenetleyiciler ise dijital sistemlerdir. Bu yüzden dış dünya ile iletişim kurmak ve dış dünyadan veri almak için bu iki sistemin bir şekilde birbirini anlaması gerekir. Bu iş içinde doğada bulunan analog sinyallerin (ısı, ışık, ses, vb.)

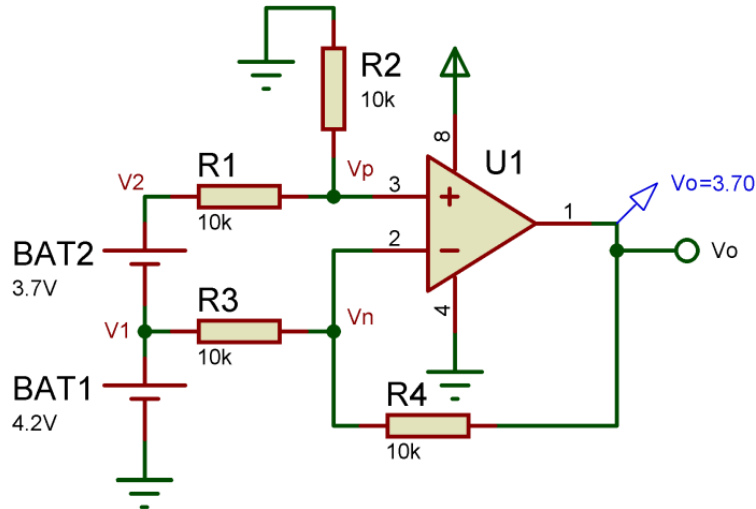
mikrodenetleyicilerin anlayacağı dijital sinyallere çevrilmesi gereklidir. Bunun için ADC devreleri ve entegreleri kullanılmaktadır. Batarya yönetim sisteminde kullanacağımız PIC16F877 mikrodenetleyicisinde ADC modülü bulunmaktadır. Böylece harici bir devre veya entegre kullanmadan analog sinyaller dahili ADC modülü sayesinde dijital sinyallere çevrilebilir. Batarya yönetiminde bu modülü kullanmamız gerekecektir.

4.1.3. Bataryalar Arası Fark Alma İşlemi

Mikrodenetleyicinin algoritmasını yürütebilmesi için ADC girişlerinden gelecek voltaj değerlerine ihtiyacı vardır. Bataryalarımız seri bağlı olduğundan $6 \times 4.2V = 25.2V$ 'a ulaşmaktadır. Mikrodenetleyicinin maksimum giriş voltajı 5 voltur. Seri bağlı batarya voltajları yüksek voltaja ulaştığı için ADC girişine direk uygulayamayız. Bu yüzden bataryaların farkını alacak sistemi uygulamak gerekir.

4.1.3.1. Op-Amp ile Fark Alma İşlemi

Fark alıcı devre, genelde ölçme ve kontrol sistemlerinin tasarımında kullanılan temel yükselteç devresidir. Şekil 4.2'de temel fark alma devresi verilmiştir.



Şekil 4.2. Fark alma devresi.

Devrede V_2 , V_1 , V , V_o , R_1 , R_2 , R_3 , R_4 parametreleri vardır. $R_1=R_2=R_3=R_4$ eşitliği sağlanmalıdır.

$$V_n = V_p = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 \quad (4.1)$$

$$I_1 + I_2 = 0 \quad (4.2)$$

$$I_1 = \frac{V_1 - V_n}{R_3} \quad (4.3)$$

$$I_2 = \frac{V_o - V_n}{R_4} \quad (4.4)$$

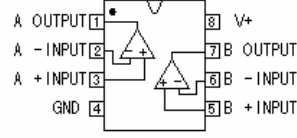
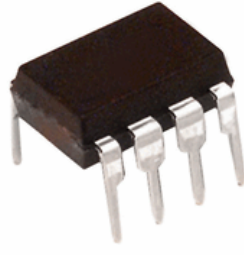
(4.1) Numaralı denklem (4.3) ve (4.4) numaralı denklemlerde yerine koyulur sonra (4.3) ve (4.4) numaralı denklem (4.2) numaralı denklemde yerine koyulur V_o yalnız bırakılırsa (4.5) numaralı denklem elde edilir.

$$V_o = \frac{R_3 + R_4}{R_3} \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 - \frac{R_4}{R_3} V_1 \quad (4.5)$$

(4.5) Numaralı denklemde dirençler sadeleştirildiğinde (4.6) numaralı denklem elde edilir.

$$V_o = V_2 - V_1 \quad (4.6)$$

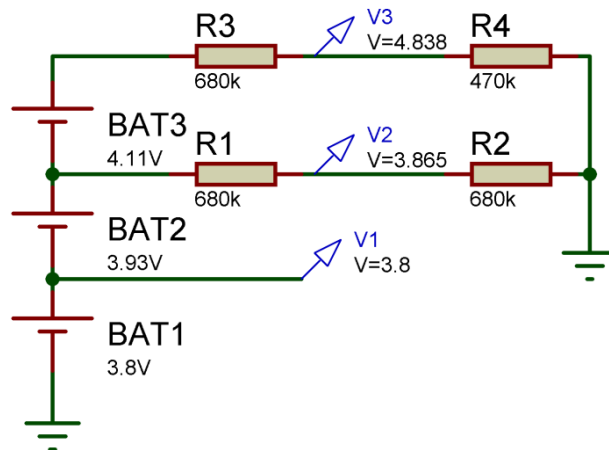
Op-Amp kullanılırken birkaç detay vardır. Fark alınması istenen Op-Amp'a giriş besleme voltajından büyük giriş voltajı uygulanamaz. Eğer uygulanırsa pratikte Op-Amp düzgün ölçüm yapamaz ve ısınıp yanabilir. Çıkış voltajı besleme voltajından büyük olamaz. Şekil 4.3'de Op-Amp ve pin diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Op-Amp ve pin diyagramı.

4.1.3.2. Gerilim Bölücü Yöntemiyle Fark Almak

Yöntemin temel amacı dirençler vasıtasıyla gerilim değerini 5 voltun altında tutmaktır. 5 voltun altına inen gerilimler mikrodenetleyicilerin analog girişlerine uygulanmaktadır. Piyasada satılan dirençlerin belirli toleransları vardır. Hiçbir zaman idealdeki değer yakalanamaz. Yine de SMD dirençlerle ideale yaklaşılmıştır. Gerilim bölücü yönteminde bizi kısıtlayan faktör sadece dirençlerin tolerans değeri değildir. Devre çalışmaya başladığı zaman dirençler üzerinden akım akacak ve dirençler ısınabilecektir. Dirençlerin ısınması sonucunda direnç değerleri değişebilecektir. Direnç değerlerinin bu şekilde oynaması istediğimiz bir durum değildir. Hassas ölçümler yapmamızı engelleyecektir. Şekil 4.4’de sadece V1 değeri batarya değerini yansıtmaktadır.



Şekil 4.4. Gerilim bölücü devresi.

V2 ve V3 değerlerine matematiksel hesap yapılacaktır. BAT2 değerini hesaplayacak olursak (4.8) numaralı denklemden hesaplanır.

$$BAT1=V1 \quad (4.7)$$

$$BAT2 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_2 - V_1 \quad (4.8)$$

BAT3 değerini hesaplayacak olursak (4.9) numaralı denklemden hesaplanır.

$$BAT3 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} V_3 - (V_1 + BAT2) \quad (4.9)$$

4.1.4. Mikrodenetleyici ile Değerlendirme

Değerlendirme yapmak için gerekli voltajlar elde edildi. Bu noktadan sonra birçok algoritma geliştirilebilir. Bu çalışmada tüm bataryaların tek tek kıyaslanarak en küçük değerli bataryanın bulunması amaçlanır. Daha sonrasında yüksek voltajlı tüm bataryaların direnç üzerinden ısıya dönüştürülerek boşaltılması amaçlanır. Eğer en küçük bataryanın voltaj değeri 3,7 voltun altındaysa devre uyarı verir. Programlama kodu ekte yer almaktadır.

4.1.5. Batarya Dengeleme Devresi

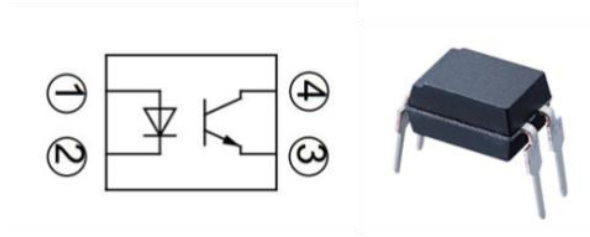
Değerlendirme algoritması uygulandıktan sonra mikrodenetleyiciden gelen kontrol işareti ile batarya dengelemenin yapılması gerekir. Optokuplör ile MOSFET veya transistör tetiklenerek boşaltma işlemi yapılabilir.

4.1.5.1. Optokuplör ile Transistör Tetikleme Yaparak Dengeleme

Anahtarlama mantığı olarak akım ile anahtarlama kullanılmak isteniyorsa transistör kullanılır. Optokuplör ve transistör ikilisi ile bu işlem gerçekleştirilir.

Optokuplör

Optokuplör bir infaruj led ve ışık alıcıdan oluşur. Aralarındaki iletim ışık ile sağlanır. Led'e voltaj uygulandığında ışık verir ve transistör iletime geçer. Genelde mikrodenetleyicilerin ürettiği kontrol sinyallerinde optokuplör kullanılır. Bu şekilde elektriksel bir bağlantı olmadığından optik izolasyon sağlanmış olur. Şekil 4.5'de optokuplör ve pin yapısı verilmiştir.



Şekil 4.5. Optokuplör pin yapısı ve örnek bir optokuplör.

Transistör

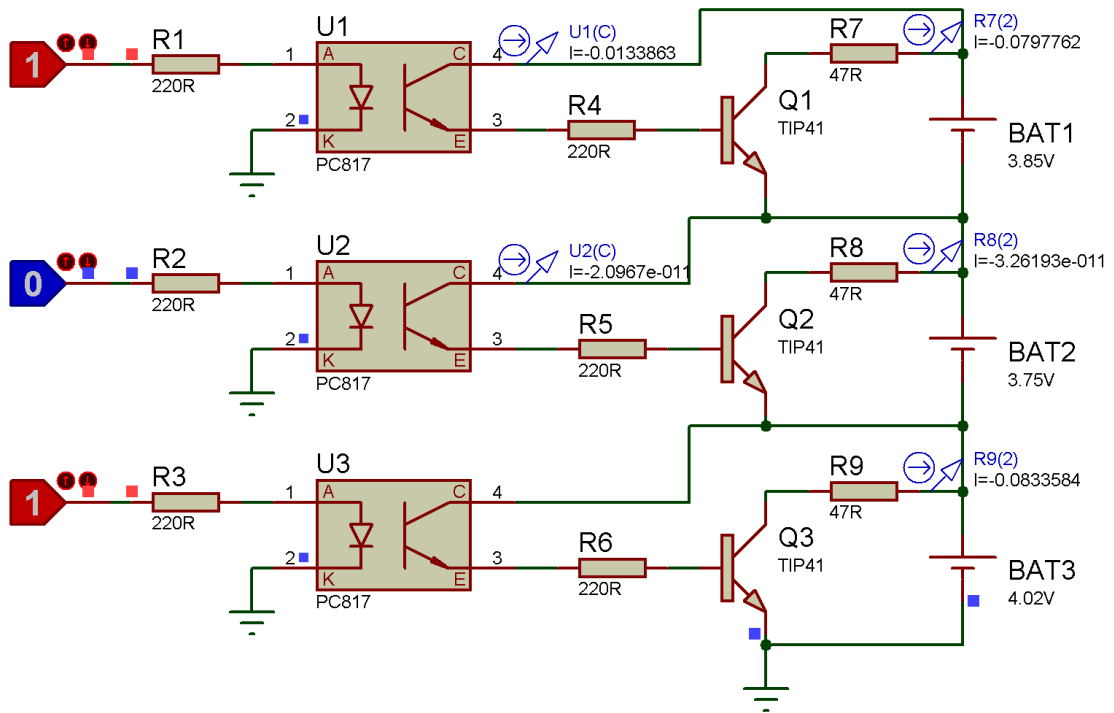
Transistör imalatında kullanılan yarı iletkenler, birbirlerine yüzey birleşimli olarak üretilmektedir. Bu nedenle bipolar jonksiyon transistör olarak isimlendirilir. Bipolar transistörler PNP ve NPN olmak üzere ikiye ayrılır. PNP tipinde base negatif, emiter ve kollektör pozitif kristal yapıdadır. NPN tipinde ise base pozitif, emiter ve kollektör negatif kristal yapıdadır. NPN tipi iletimde olması için base, emitere göre pozitif olmalıdır. Buradaki gerilim farkı 0.7 (silisyum), 0.3 (germanyum) volt ya da daha fazla olmalıdır.

Sayıcılar, bilgisayarlar, ateşleme devreleri gibi bir kısım devrenin çok hızlı çalışması ve sükûnete geçmesi gerekebilir. Bu gibi durumlarda çok hassas bir anahtarlama yapılmalıdır. Bu devrelerde transistörden anahtar olarak yararlanılmaktadır.

Bir transistör polarmalandırılırken emiterdeki ok, diyot olarak varsayılır. Diyot tek yönlü akım geçirir. Doğru polarma için anoduna pozitif, katoduna negatif potansiyelde gerilim uygulanır. Buna göre NPN bir transistörün emiterindeki ok

diyot olarak düşünüldüğünde okun emiterdeki ucu katod olur. Emitere negatif, kollektör ve base'ye pozitif polarma uygulanır.

Şekil 4.6'de optokuplörün 1 numaralı bacağına uygulanan kontrol işareti 1 olursa optokuplör ilettime geçecektir. Bu durumda bataryanın artı ucu transistörün base bacağındaki dirence gelecektir, eksi ucu da emiterine gelecektir. Baseden akım akarak transistör iletken duruma geçecektir ve batarya direnç üzerinden boşalmaya başlayacaktır.

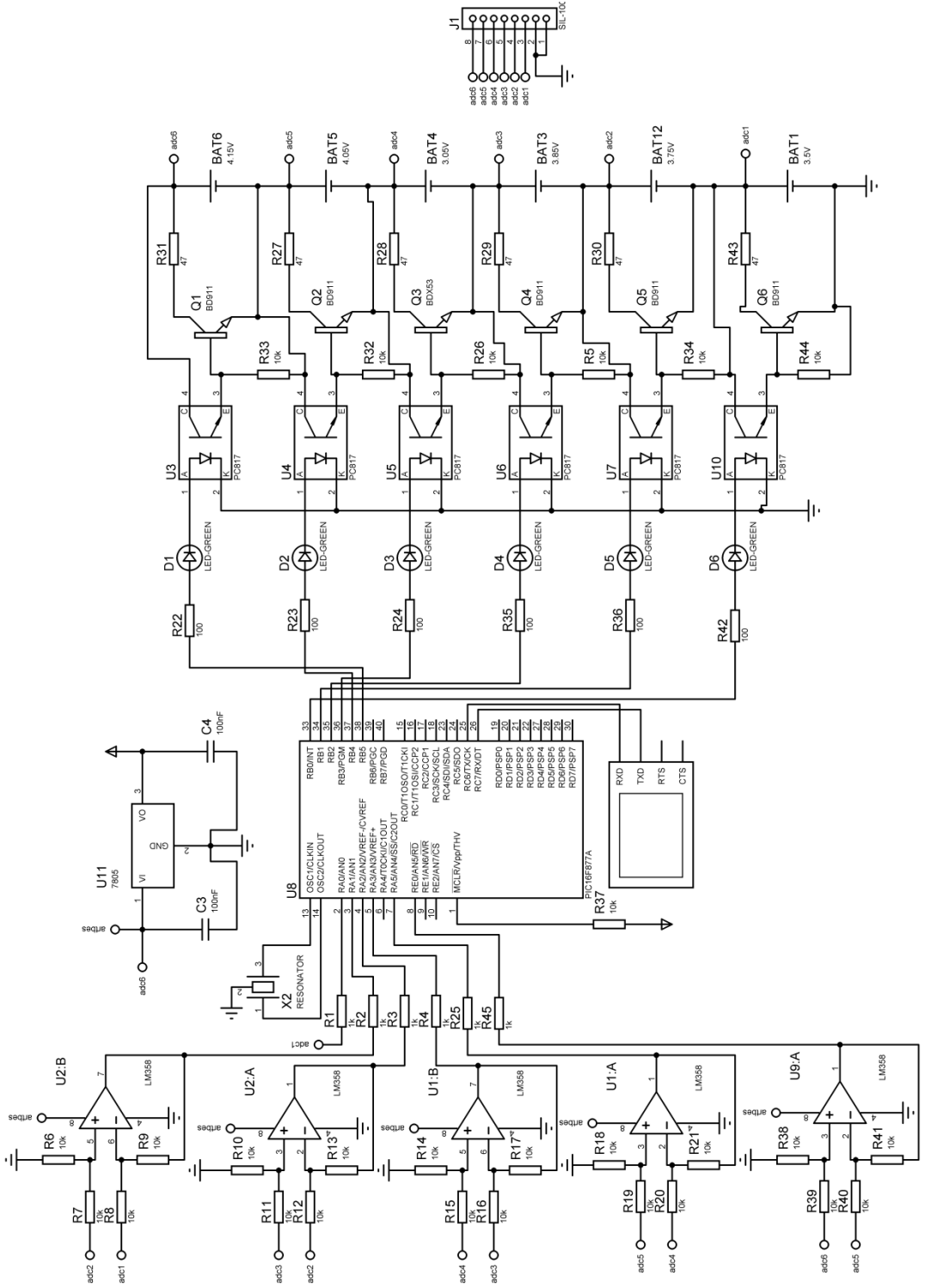


Şekil 4.6. Optokuplör ile transistör tetikleme.

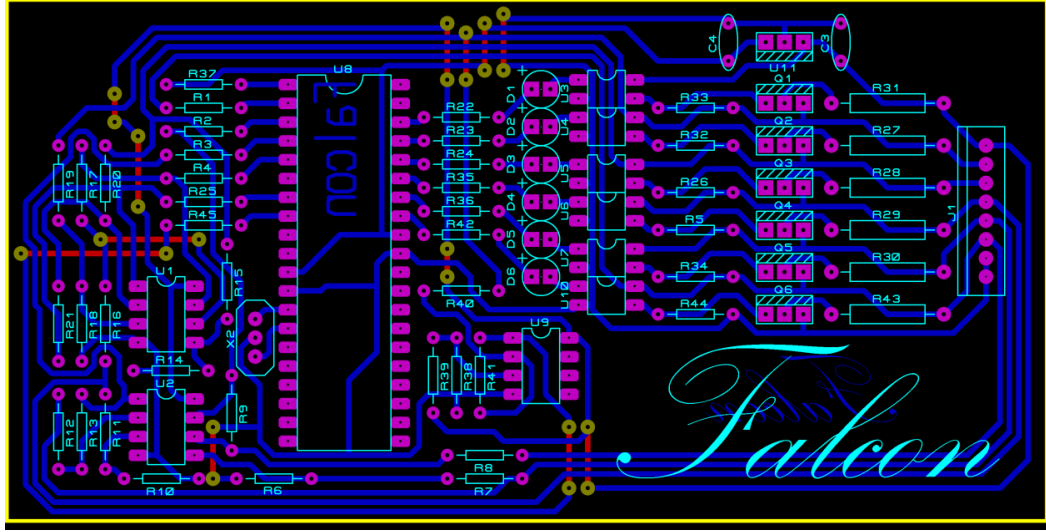
4.1.6. Tasarım 1: 6 Seri BYS Açık Devre Şeması, Baskı Devre Şeması, 3D Görüntüsü ve Tasarımı

Şekil 4.7'de 6 adet seri bataryayı dengeleyebilen batarya yönetim sistemi devre çizimi, Şekil 4.8'de 6 hücreyi dengeleyebilen BYS baskı devre şeması verilmiştir.

Devrenin sanal görüntüsü ve tasarlanan 6 hücreli BYS resmi ekte Şekil EK B.1 ve Şekil EK B.2'de yer almaktadır.



Şekil 4.7. Tasarım 1: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi açık şeması.



Şekil 4.8. Tasarım 1: 6'lı batarya yönetim sistemi baskı devre şeması.

4.2. TASARIM 2: 6 SERİ BAĞLI BATARYA HÜCRELERİNİN PASİF DENGELEME İLE DENGELENMESİ

Tasarım 1'deki 6 hücreli batarya yönetim sistemi ile aynı mantığa sahip olan tasarım 2'de SMD ürünlere geçiş yapılmaya başlanmıştır. Bu devrede Op-Amp'lı fark yükseltici için kullanılan dirençler tolerans değerleri çok düşük(%0,01) olan SMD dirençlerden seçilmiştir. Bu sayede gerilim hesaplama hassasiyeti artırılmıştır. Bu sebepten ötürü mikrodenetleyici daha hassas bir gerilim okuma yapabilmektedir. Mikrodenetleyici olarak PIC 18F4680 entegresi kullanılmıştır. Bunların dışında dengeleme devresinde transistör yerine MOSFET kullanılmıştır.

4.2.1. Batarya Dengeleme Devresi

4.2.1.1. Optokuplör ile MOSFET Tetikleme Yaparak Dengeleme

Anahtarlama mantığı olarak gerilim ile anahtarlama kullanılmak isteniyorsa MOSFET kullanılır. Optokuplör ve MOSFET ikilisi ile bu işlem gerçekleştirilir.

MOSFET

Alan etkili transistörün (FET) geliştirilmiş tipi genellikle MOSFET olarak bilinen metal oksit yarı iletkenidir. MOSFET kelimesinin açılımı metal oxide semiconductor field effect transistor'dür.

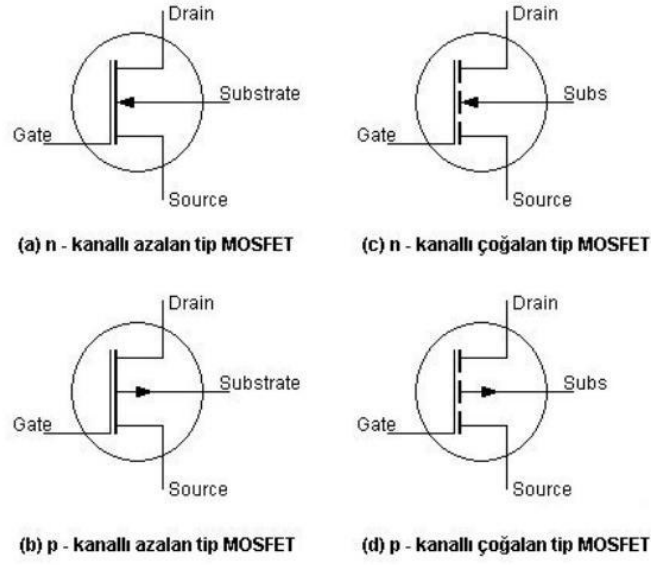
İzole edilmiş gate özelliğinden dolayı MOSFET'lerin giriş empedansı çok yüksektir ve elektrotlar arası iç kapasitansı çok düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı MOSFET normal transistörlerin frekans sahasının çok daha üstündeki frekanslarda ve yüksek giriş empedanslı yükselteçlere ihtiyaç duyulan devrelerde daha fazla kullanılır. Bu yüzden MOSFET voltmetre, ohmmetre vb. test aletlerinde kullanılırlar. MOSFET'lerin transistörlere göre diğer avantajı gürültüsünün az olması ve band genişliğinin fazla olmasıdır. Akım harcamaması da diğer bir avantajıdır.

MOSFET'lerin dezavantajları da vardır. MOSFET yapısındaki ince silikon oksit tabakası kolaylıkla tahrip olabilir. MOSFET'e elle dokunulması halinde insan vücudu üzerindeki elektrostatik yük nedeniyle oksit tabakası delinerek kullanılamayacak hale gelebilir. Bu yüzden MOSFET'ler özel ambalajlarında korumaya alınmalı, MOSFET'e dokunmadan önce kullanıcı üzerindeki elektrostatik yükü topraklayarak boşaltmalıdır. MOSFET lehimlenirken düşük güçlü havya kullanılmalı ve havya topraklanmalıdır.

MOSFET'ler şu şekilde sınıflandırılır;

- ✓ Azaltan (Boşluk şarjlı, depletion tipi) MOSFET
- ✓ Çoğaltan (Enhancement tipi) MOSFET

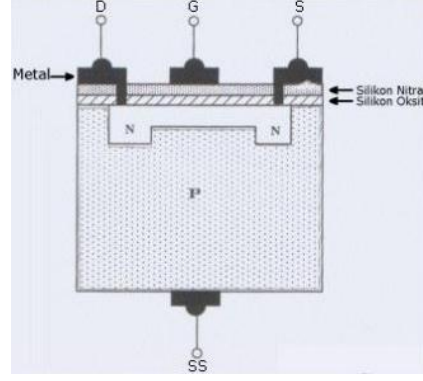
MOSFET'ler kendi aralarında n-kanallı ve p-kanallı azaltan ve çoğaltan tip olarak ayrılır. Şekil 4.9'da MOSFET sembolleri gösterilmiştir.



Şekil 4.9. MOSFET sembolleri.

Azaltan tip MOSFET

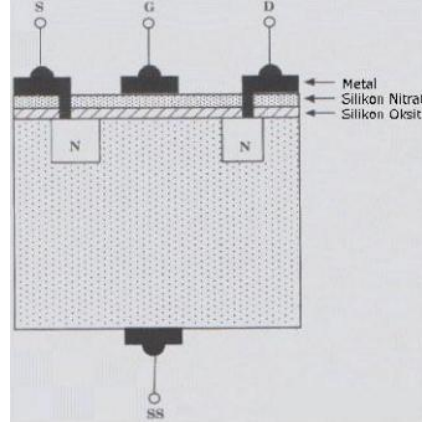
Şekil 4.10'da taban malzeme p-tipi madde alınmıştır. Bu p-tipi maddenin uygun yerlerinde N tipi bölgeler oluşturulmuş ve aralarına ince bir kanal yerleştirilmiştir. Üzeri silikon oksit tabakası ile kaplanmıştır. Ancak bu tabakanın havadaki sodyumdan etkilenme ihtimali olduğundan bunun üzeri ikinci tabaka olan silikon nitrat ile kapatılmıştır. N-tipi maddelerinden çıkartılan uçların adı drain ve source uçları silikon tabakalarından açılarak metalik irtibat sağlanmıştır. Drain ve source uçları n-tipi bölge ile doğrudan irtibatlı olduğu halde gate ucu yarıiletkenden yalıtılmış haldedir. Burada gate ucuna uygulanan gerilim sıfır volt olduğunda drain ve gate uçları arasında belirli bir akım akar. Gate ucuna daha fazla bir gerilim uygulandığında ise n-tipi maddeler arasındaki kanal genişleyeceğinden drain-source arasından geçen akım artar. Gate kanalına eksi gerilim uygulandığında ise kanal daralarak akım azalır. Kanal n-tipi maddeden yapıldığından n-kanallı azaltan tip MOSFET'tir. Kanal p-tipi maddeden de yapılabilir.



Şekil 4.10. Azaltan tip MOSFET yapısı.

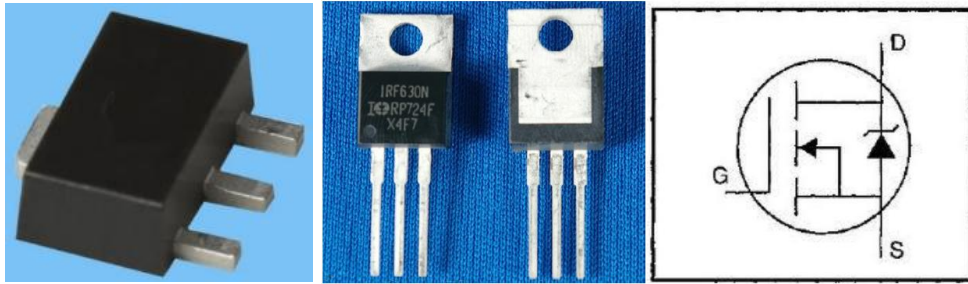
Çoğaltan tip MOSFET

Şekil 4.11’de çoğaltan tip MOSFET’in yapısı gösterilmiştir. Çoğaltan tip MOSFET’in azaltan tipten farkı iki n-tipi bölgenin arasında kanal olmamasıdır. Burada da source ve drain uçları n-tipi bölgelerle doğrudan temas halinde oldukları halde gate ucu yarıiletken malzemedan izole edilmiş durumdadır. Gate ucuna gerilim uygulanmazsa source ve drain uçları arasında akım akmaz. Gate ucunun bulunduğu metal parça ile p-tipi gövde bir kondansatör özelliği gösterir. Çünkü iki iletken bir yalıtkan kondansatörü meydana getirir. Gate ucuna pozitif bir gerilim uygulandığında kapasite özelliğinden dolayı p-tipi gövdede iki n-maddenin yanında eksi yükler toplanır. Böylece iki N-tipi madde arasında doğal bir kanal oluşur. Bu durumda akım akışı başlar. Gate ye uygulanan pozitif gerilimin artması halinde iki n-tipi madde arasında oluşan eksi yükler çoğalarak p-tipi gövde içerisinde oluşan bu kanalın genişlemesine neden olur.



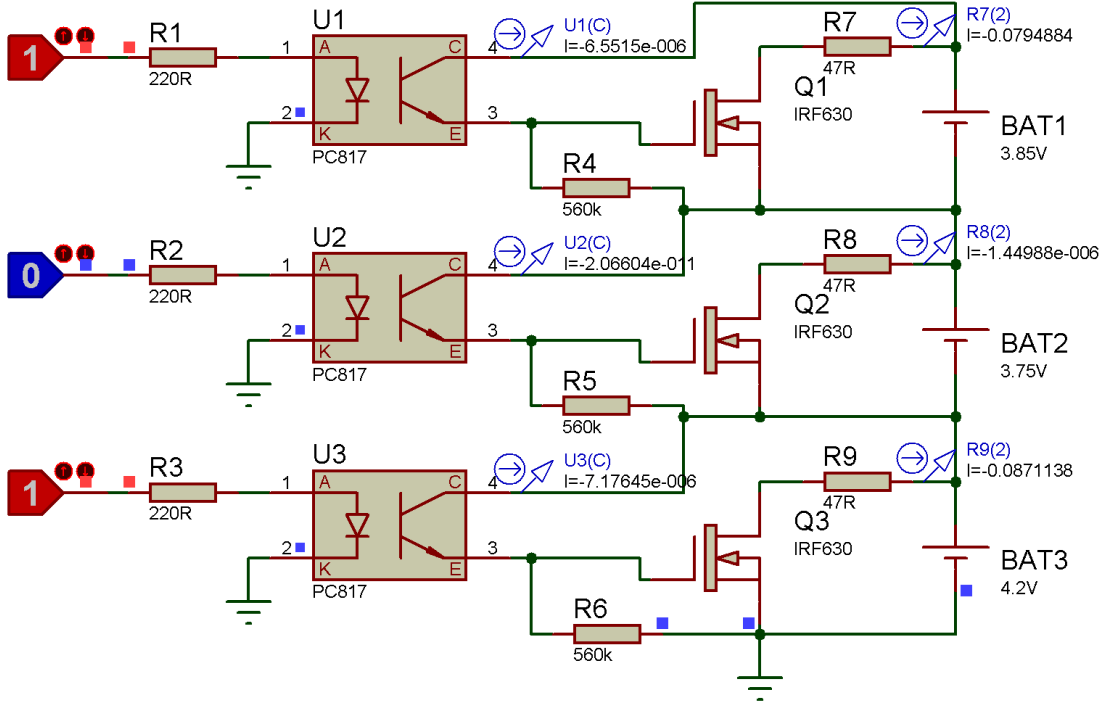
Şekil 4.11. Çoğaltan tip MOSFET yapısı.

Böylece source ve drain uçları arasında akan akım, gate ye uygulanan gerilim ile kontrol edilebilir. Gate ucuna gerilim uygulanmadığı sürece source ve drain arasından akım akmaz. Fakat MOSFET ve optokuplör ile sürülürse MOSFET'in gate ucunda voltaj bakımından bir belirsizlik oluşur. Referans voltajı bulamaz. Bunu engellemek için MOSFET'in gate ve source uçları arasında neredeyse yalıtkanlık seviyesindeki 560k Ω 'luk veya daha üzeri bir direnç konulmalıdır. Şekil 4.12'de IRF630 ve içyapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. IRF630 MOSFET ve içyapısı.

Şekil 4.13'de optokuplörün 1 numaralı bacağına uygulanan kontrol işareti 1 olursa optokuplör iletme geçecektir. Bu durumda bataryanın ucu artık MOSFET'in gate ucunda, eksi ucu ise source bacağına olacaktır. Gate ile source arasında gerilim farkı oluşacağından MOSFET iletken duruma geçecektir ve batarya direnç üzerinden boşalmaya başlayacaktır.

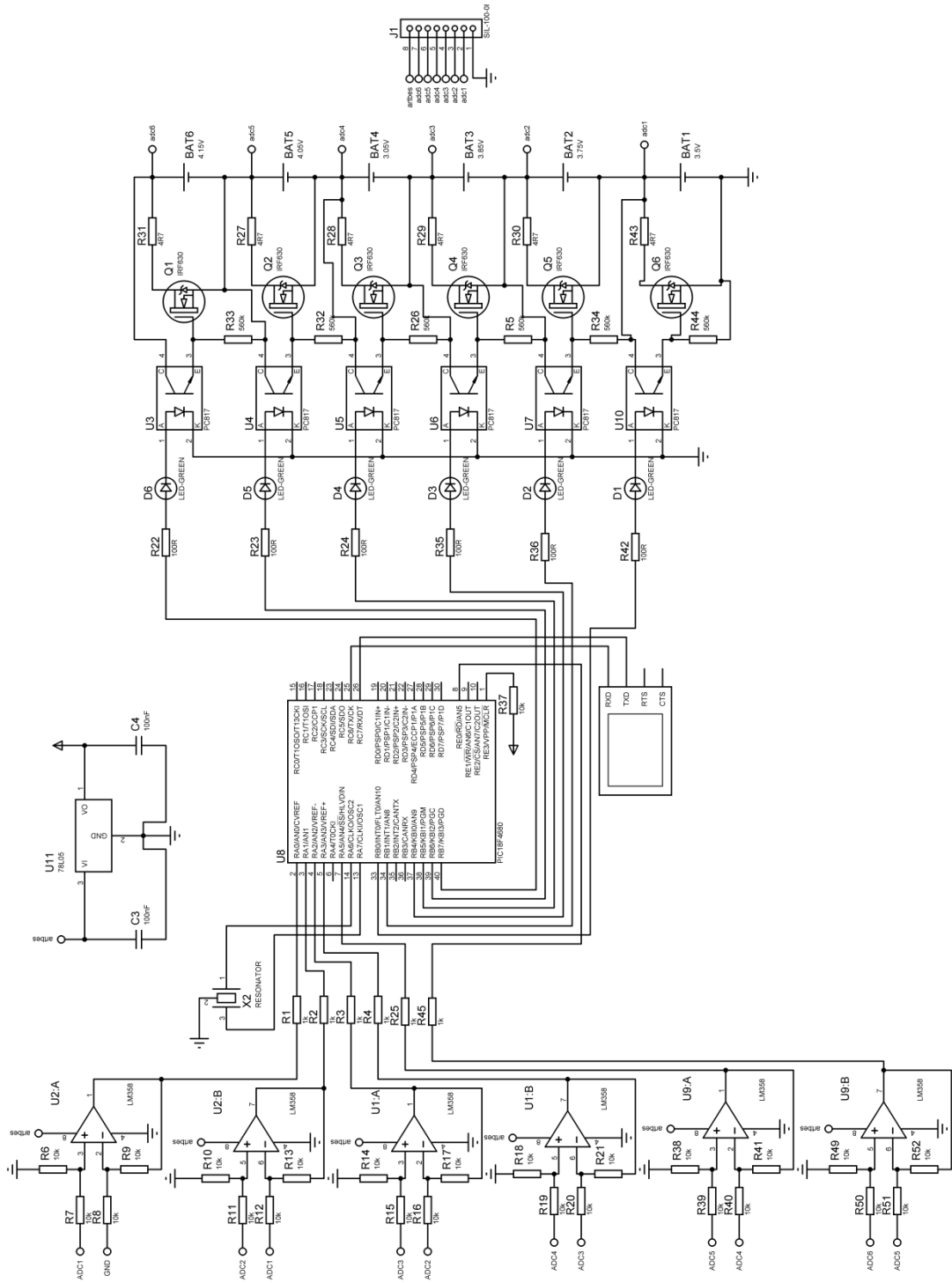


Şekil 4.13. Optokuplör ile MOSFET sürme.

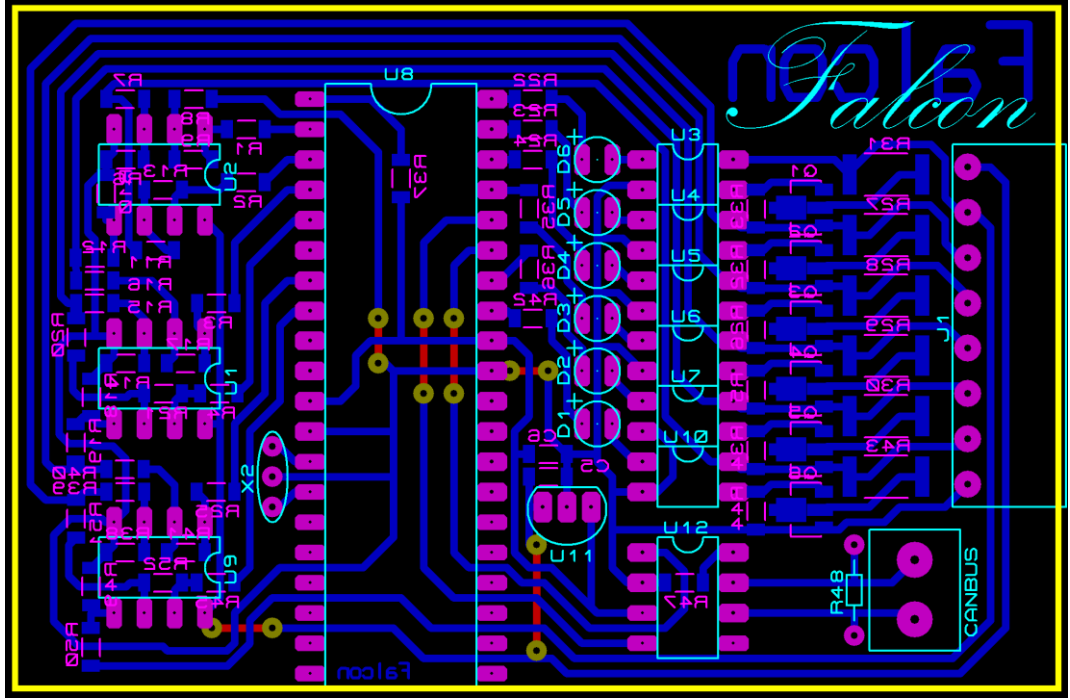
4.2.2. Tasarım 2: 6 Seri BYS Açık Devre Şeması, Baskı Devre Şeması, 3D Görüntüsü ve Tasarımı

Şekil 4.14’de 6 adet seri bataryayı dengeleyebilen batarya yönetim sistemi devre çizimi, Şekil 4.15’de 6 hücreyi dengeleyebilen BYS baskı devre şeması verilmiştir.

Devrenin sanal görüntüsü ve tasarlanan 6 hücreli BYS resmi ekte Şekil EK B.3 ve Şekil EK B.4’de yer almaktadır.



Şekil 4.14. Tasarım 2: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi açık şeması.



Şekil 4.15. Tasarım 2: 6'lı batarya yönetim sistemi baskı devre şeması.

4.3. TASARIM 3: 6 SERİ BAĞLI BATARYA HÜCRELERİNİN PASİF Dengeleme İLE Dengelemesi

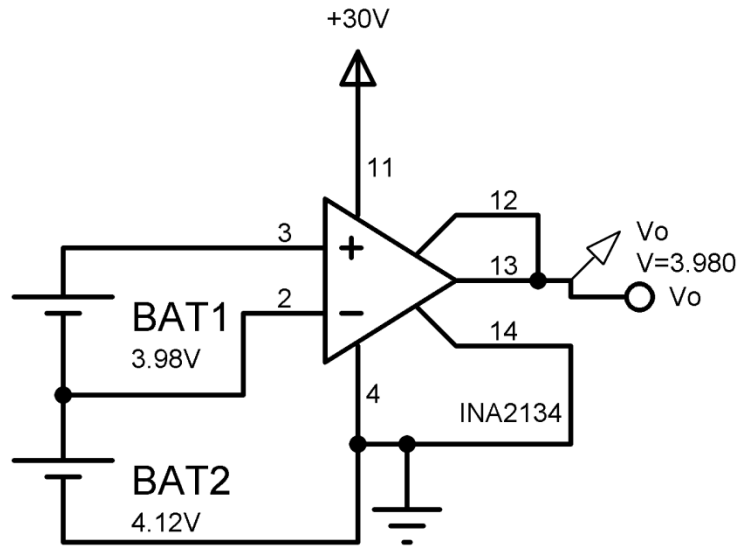
Tasarım 1'deki 6 hücreli batarya yönetim sistemi ile aynı mantığa sahip olan tasarım 3'de artık devrenin daha az yer kaplaması için çoğu malzemede SMD ve kompleks devre elemanları kullanılmıştır. Bu devrede Op-Amp'lı fark yükselteci olarak Texas Instruments firmasının üretmiş olduğu INA2134 Op-Amp'ı kullanılmıştır. Bu sayede devrenin boyutu biraz daha küçültülmüştür. Bunların dışında Tasarım 2'ye göre bu devrenin dengeleme devresinde MOSFET yerine transistör kullanılmıştır.

4.3.1. Bataryalar Arası Fark Alma İşlemi

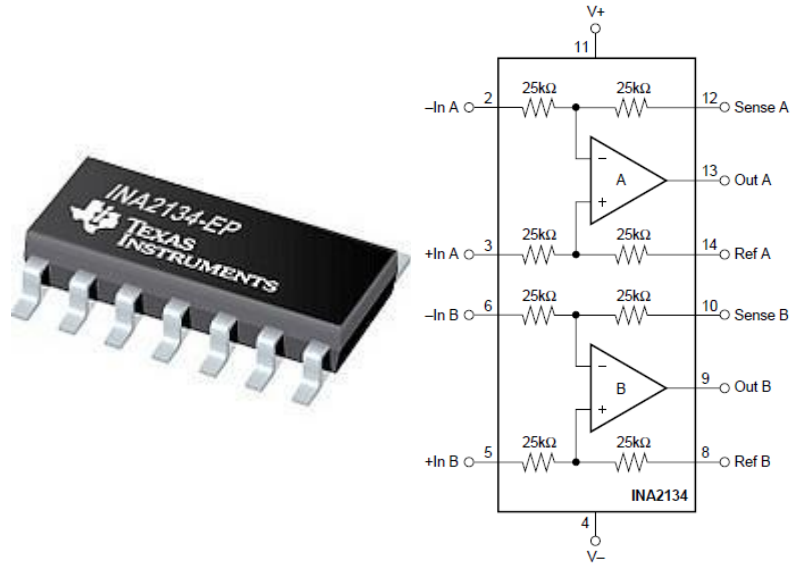
4.3.1.1. INA2134 Op-Amp ile Fark Alma İşlemi

Piyasada sadece fark alma amacıyla üretilen Op-Amp'lar mevcuttur. Bunlardan biri de INA2134'dür. Bu Op-Amp'ın kendi içerisinde direnci bağlıdır ve özel üretimle karşımıza çıkmaktadır. İşlerimizi rahatlatacak bu Op-Amp'ın maliyet açısından bir dezavantajı vardır. 80 volta kadar giriş voltajı uygulanabilmektedir. Üretici

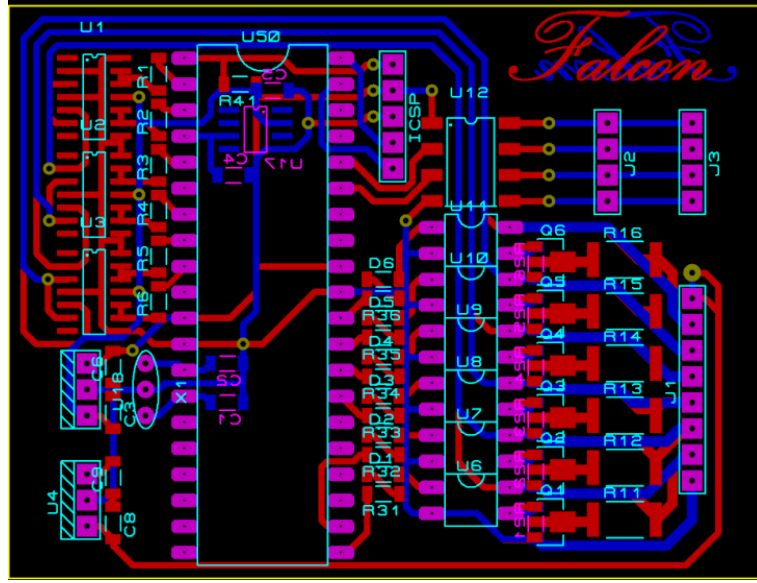
kataloglarında nasıl kullanılması gerektiği verilmektedir. Tasarım 3 batarya yönetim sisteminde de 6 seri batarya hücresi bulunmaktadır. 6×4.2 voltta maksimum 25.2 volta ulaşmaktadır. Düşük gürültü ve yüksek hassasiyet özelliği olması sebebiyle bu tasarımda tercih edilmiştir. Ayrıca giriş voltajının yüksek olması nedeniyle daha seri hücresi bulunan batarya paketleri için ölçüm devresinde kullanılabilir. Şekil 4.16'da INA2134 Op-Amp'ın bağlantısı, Şekil 4.17'de INA2134 Op-Amp'ı verilmiştir.



Şekil 4.16. INA2134 Op-Amp bağlantısı.



Şekil 4.17. Texas Instruments firmasının üretmiş olduğu INA2134 Op-Amp.



Şekil 4.19. Tasarım 3: 6'li batarya yönetim sistemi baskı devre şeması.

Devrenin sanal görüntüsü ve tasarlanan 6 hücreli BYS resmi ekte Şekil EK B.5 ve Şekil EK B.6'de yer almaktadır.

4.4. TASARIM 4: 13 SERİ BAĞLI BATARYA HÜCRELERİNİN PASİF Dengeleme İle Dengelemesi

Tasarım 3'deki 6 hücreli batarya yönetim sistemi ile aynı mantığa sahip olan tasarım 4'de devrenin daha az yer kaplaması için çoğu malzemede SMD ve kompleks devre elemanları kullanılmıştır. Bu devrede de Op-Amp'lı fark yükseltici olarak Texas Instruments firmasının üretmiş olduğu INA2134 Op-Amp'ı kullanılmıştır. Fakat bu devrede INA2134 Op-Amp'ının yüksek giriş voltajında çalışma özelliği kullanılmıştır. INA2134 Op-Amp'ı 80 volta kadar olan giriş voltajlarında çalışabilmektedir. Tasarım 4'de giriş voltajı olarak maksimum $13 \times 4,2V = 54,6V$ gerilim değerine ulaşmaktadır. Ayrıca bu tasarımda can-bus haberleşme sistemi kullanılarak devre dış dünya ile haberleştirilmiştir.

4.4.1. Haberleşme

Batarya yönetim sistemleri tarafından ölçülen ve hesaplanan veriler haberleşme yolu ile dış dünyaya aktarılır. Endüstriyel ortamda cihazlar arasında haberleşmenin

sağlıklı şekilde gerçekleşmesi için çeşitli haberleşme protokolleri kullanılır. RS485, RS422, RS232, CAN-BUS, vb. gibi çeşitli protokoller endüstriyel ortamda kullanılan haberleşme protokollerine birer örnektir. Bu protokoller iletişim hızı, iletişim menzili gibi özellikler nedeniyle birbirilerinden ayrılır.

Tasarımda kullanım kolaylığı ve araç teknolojisinde kullanılmasından dolayı Can-Bus haberleşme sistemi tercih edilmiştir. Can-Bus veri iletişimi için Microchip firmasının MCP2551 entegresi kullanılmıştır.

4.4.1.1. Can-Bus

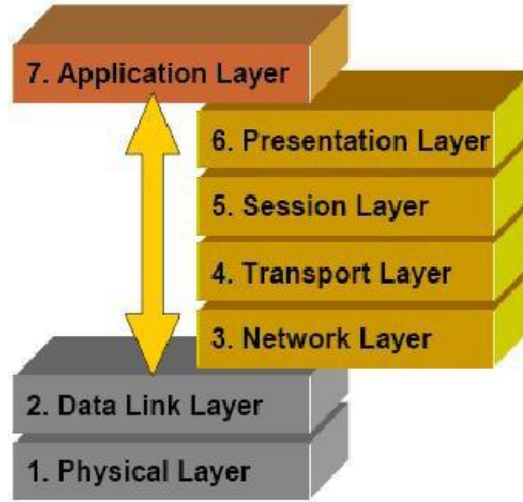
Açılımı “Controller Area Network Bus” olan yani “Kontrol Alan Ağı Veri Yolu”dur. 1980’lerde Robert Bosch tarafından otomotivde kablo yumağı yerine bir kablodan yazılım kontrollü veri transferini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. CAN, otomotiv endüstrisindeki en bilinen haberleşme sistemidir. Her ne kadar başlangıçta yalnızca otomotiv uygulamaları için tasarlanmış olsa da yüksek performansı güvenilirliğinden dolayı birçok dağıtık (distributed) endüstriyel kontrol uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Güvenliğin çok önemli olduğu gerçek zamanlı uygulamalarda da kullanılır. Öyle ki istatistiksel olasılık hesapları sonucunda bir sırada bir tane tespit edilemeyen mesaj hatası yapabileceği tespit edilmiştir.

Uygulama alanı yüksek hızlı ağlardan düşük maliyetli çoklu kablolu sistemlere kadar genişdir. CAN-BUS, otomobil elektroniği, akıllı motor kontrolü, robot kontrolü, akıllı sensörler, asansörler, makine kontrol birimleri, kaymayı engelleyici sistemler, trafik sinyalizasyon sistemleri, akıllı binalar ve laboratuvar otomasyonu gibi uygulama alanlarında maksimum 1Mbit/sn’lik bir hızda veri iletişimi sağlar.

CAN-BUS’ı ISO/OSI Reference’ı üzerinden açıklamak istersek CAN-BUS

- ✓ Nesne Katmanı (*object layer*)
- ✓ İletim Katmanı (*Transfer layer*)
- ✓ Fiziksel Katman (*Physical layer*)

şeklinde üç alt bölüme ayırabiliriz. Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Can-Bus ISO/OSI reference.

Nesne ve iletim katmanları data link layerin tüm servis ve fonksiyonlarını oluşturur.

Nesne Katmanının görevleri;

- ✓ Hangi mesajın transfer edileceğini tespit etmek,
- ✓ İletim katmanında hangi mesajın alınacağına karar vermek,
- ✓ Donanımla ilgili uygulamaya arayüz sağlamaktır.

İletim katmanının başlıca görevi transfer protokolüdür. Örneğin: çerçeve (frame) kontrolü, mesaj önceliği belirleme, hata kontrolü, hata sinyalleşmesi, hata kapatma. İletim katmanı yeni bir mesajı yollamadan önce iletim hattının boş olmasına dikkat eder. İletim hattından veri alınmasından da sorumludur. Ayrıca senkron iletişim için veri transferi sırasında bit zamanlamasının bazı parametrelerini göz önünde bulundurur.

CAN-BUS üzerinden haberleşen tüm sistem bileşenlerine ünite(node) denir. Örneğin 100 tane birbirinden bağımsız mikrodenetleyicili devrelerimiz olsun. Bunları CAN—BUS sistemi ile haberleştiğimizi varsayalım. Bu sistemde her bir mikrodenetleyicili sistem bir üniteyi oluşturur.

Fiziksel Katman, üniteler arasında veri haberleşmesi sırasındaki tüm elektriksel kısımdır

CAN-BUS sisteminin sahip olduğu özellikler:

- ✓ Mesaj önceliği
- ✓ Kayıp zaman güvenliği
- ✓ Yapılandırma esnekliği
- ✓ Senkronizasyonlu çoklu kabul: Aynı veri birçok ünite tarafından alınabilir
- ✓ Sistemdeki veri yoğunluğunu kaldırabilme
- ✓ Çok efendili (Multimaster) çalışma
- ✓ Hata tespiti ve hataya ilişkin sinyalleri üretme
- ✓ Mesajın yollanmasında hata oluşması halinde mesajın iletim hattının (BUS) boş olduğu bir anda mesajın otomatik tekrar yollama
- ✓ Ünitelerde oluşan geçici ve kalıcı hataları ayırt edebilme ve özerk olarak kalıcı hatalı üniteleri kapatabilme

Çalışma Mantığı

CAN-BUS sisteminde tüm üniteler iletim hattına eşit öncelikli veri yollama hakkına sahiptirler. Buna multimaster çalışma denir. Hatasız veri iletişimi nasıl olur? Herkes bir anda veri yollamaya çalışırsa çatışmalar olacağı açık. Bunun çözümü şöyle sağlanmış. Tüm üniteler her daim iletim hattını dinlemek zorundadır. Yani her ünite iletim hattının boş olduğu anı yakalamaya çalışır. Hattı boş gören verisini yollar.

Tüm ünitelerin eşit mesaj yollama önceliği olsa da işin aslı biraz öyle değil. Bunun sebebi, CAN' in mesaj öncelikli bir sistem olmasından dolayıdır. İnternette tüm PC'lerin bir numarası (IPsi) vardır ve veriler o IP'li kişiye yollanır. Zaten bu yüzden bol kablolamalı bir sistemdir. Ancak CAN de ünitelere değil mesajlara numara verilir. Örneğin bir otomobil düşünelim. Aceleci şoförümüz yolda hızlıca giderken bir arabaya çarpacak olsun. Şoför çarpacağını fark eder ve tüm gücüyle frene asılır. Burada CAN' in önemi arabaların kaza yapması ile başlar. Mesela önden çarpıtı ve sensörler bunu fark ettiğinde hava yastıklarının açılması, yakıtın kesilmesi gibi bir dizi önlemler alınmalıdır. Bu işlerden sorumlu tüm ünitelere 1 numaralı mesaj (kaza oldu güvenlik sistemleri devreye girin) iletilmelidir. Bunu sensörlü sistem söyleyecektir diğer ünitelere. Ancak o ara başka bir ünite mesela motor ısısının kaç derece olduğunu kokpitte ki LCD'li üniteye yollamaya çalışsın. Sizce hangisi şu

anda daha önemli! İşte CAN tek kablo üzerinden eşit erişimli mesaj yollanmasına izin verir ama öncelikli mesajların daha önce iletim ortamına iletilmesine de özen gösterir.

CAN, iletişim ortamına erişim yöntemi olarak bit öncelikli yapı ile CSMA/CD kullanır. Bu yöntem, mesajların çarpışmamasını garanti etmekle beraber, iletişim hattının uzunluğunu sınırlandırır. Dolayısıyla, CAN düğümler 1 Mbit/s veri iletim hızı ile 40 m ve 40 Kbit/s veri iletim hızı ile 1000 m'lik bir veri yolu üzerinden bağlanabilirler.

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) den kısaca bahsederek CAN sistemi, güvenli iletişim gücünü bu yapıyı kullanmasından alır. Bir CAN haberleşmesi örneği ile CSMA/CD'nin rolünü açıklayalım. CAN sistemindeki her ünite iletim ortamını dinlemek zorundadır. Eğer bir ünite iletim ortamına veri aktarmak isterse önce yolu dinler, yol boş ise verisini yola iletir.

Bazen uzak mesafelerden de kaynaklanan sebeplerden dolayı bir ünite yola veri aktarırken, uzaktaki diğer ünite mesajın yolda olduğunu anlayamadığından kendi mesajını da yolu boş zannederek bırakır. Böylece çatışma (collision) oluşur. İki ünite de çatışmayı sezer ve her iki ünite de veri aktarım isteklerini bir süre bekletir. Daha sonra iletim ortamı boş olduğunda verilerini tekrar yollamaya çalışırlar.

CAN-BUS' a gönderilen tüm veriler tüm üniteler tarafından alınır. Her ünite içinde bulunan filtreler yardımıyla kendisini ilgilendiren mesajları alır, ilgilendirmeyenleri ise çöpe atar.

CAN-BUS Veri Paketleme Yapısı ve Mantiğı

Mesaj ID Alanı (Arbitration Field) (Yargıcılık Alanı)

CAN sistemlerinde veriler paketler halinde iletilir. Ancak iki tip paketleme yapılı ve özel adları da vardır. 11 bit tanımlayıcıya sahip olanlar CAN2.0A diğer adıyla Standart CAN, 29bit tanımlayıcıya sahip olanlara ise CAN2.0B diğer adıyla

Geliştirilmiş (Extended) CAN denir. Aralarındaki temel fark ise tanımlanabilinecek mesaj sayısıdır. Standart CAN de $2^{11} = 2048$ mesaj tanımlanabilinirken, Geliştirilmiş CAN de $2^{29} = 536.870.912...$ mesaj tanımlanabilinir. Bu bilginin tutulduğu alana mesaj id alanı denir. Mesaj önceliğini belirlemede buradaki sayı dikkate alınır. Ayrıca, mesaj id alanı RTR biti de içerir. Eğer 1 ise gönderilecek pakete İstek Çerçevesi (Remote Frame) denir. Eğer 0 ise Veri Çerçevesi (Data Frame) denir. Bir ünite neden Data Frame yollar? Bu sorunun yanıtı kendisinde bulunan veriyi iletmeğdir. Peki bir ünite neden istek çerçevesi yollar? Bu sorunun yanıtı da şöyledir. Bazen üniteler başka ünitelerden gelecek bilgiye ihtiyaç duyarlar. Karşı tarafa “bana şu bilgiyi yolla” demenin yolu istek çerçevesi kullanmaktır. İstek çerçevesi yollayan bir ünitenin Veri Alanı (Data Field) yoktur. Çünkü veri istemektedir. İstenen veriye ilişkin bilgi Mesaj ID Alanında vardır.

Kontrol Alanı (Control Field)

6 bitten oluşur. İlk biti standart veri paketlemesi mi yoksa geliştirilmiş veri paketlemesi mi yapıldığını belirtir. Ayrıca Veri Alanının kaç byte'dan oluştuğunu belirten bitlere de sahiptir.

Veri Alanı (Data Field)

CAN-BUS ta bir anda en fazla 8 byte'lık veri yollanabilir. Yani Veri Alanı uzunluğu en azla 8 byte olur. Ama daha da az olabilir. Gönderilecek veri uzunluğu Kontrol Alanında belirtilir.

Dönüşsel Artıklık Kontrol Alanı (Cyclic Redundancy Control Field – CRC Field)

15 bitlik CRC Sequence ve CRC Delimiter dan oluşur. Görevi pakete ait CRC Kodunu tutmaktır. Üniteye gelen pakete cevap verilebilmesi için ilk önce paketin doğruluğu kontrol edilmelidir. Bunun için de ilk önce alınan paketin CRC değeri hesaplanır. Daha sonra alıcı ünite paket ile birlikte gelen CRC değeri ile hesaplanan değeri karşılaştırılır. İki değer birbirine eşit ise alınan paket geçerlidir. Eğer iki değer

birbirine eşit değilse mesajı alamadığını belirtmek için CRC hatasından kaynaklı hata oluştuğunu belirten Hata Çerçevesi (Error Frame) yollar. Bu bilgiyi alan gönderici veriyi tekrar yollamaya çalışır. Bu bilgiyi ünitelerden sadece biri yollasa bile veri tekrar yollanmalıdır.

Alındı Bilgisi Alanı (Acknowledgement Field - ACK Field)

Bunu bir mesaj iletimiyle açıklayalım. Gönderici Başla biti ile iletim hattında şu an gönderici benim der. Ardından Mesaj ID Alanı, Kontrol Alanı, Veri Alanı, CRC Alanı gönderilir. Alındı Bilgisi Alanında ise iletim ortamı çekinik tutulur. Eğer diğer tüm ünitelerden biri, mesaj onu ilgilendirse ya da ilgilendirmese dahi, mesajı alabiliyorsa iletim ortamını baskın yapar ve böylece gönderici en az bir ünite veriyi alabildiği için bitir bitini yollayıp iletim ortamını diğerlerinin kullanımını için bırakır. Yani Alındı Bilgisi Alanında “Aldınız mı?” sorusuna yanıt beklenir. Eğer Alındı Bilgisi sürecinde herhangi bir üniteden alındığına dair bilgi alamazsa ACK hatasından kaynaklı hata oluştuğunu belirten Hata Çerçevesi üretilir ve gönderici tekrar yollamaya çalışır.

Eğer gönderen İstek Çerçevesi yollamışsa, alıcı da iletim hattının boş bir anında cevabını göndericiye yollar.

Hata Çerçevesi (Error Frame)

Veri Çerçevesi veya İstek Çerçevesinin gönderiminde yada alımında hata oluştuğunda gönderen veya alıcılar tarafından ne tip hatanın olduğunu belirten mesaj çerçevesidir.

Kullanım Türleri

CAN kullanım şekli bakımından iki şekilde görülür. Biri Full-CAN diğeri ise Half-CAN tabirleri ile anılır. Bu ifadelerden kasıt ise şöyledir. Eğer CAN denetleyici ve mikrodenetleyici birbirinden ayrı iseler buna half-CAN denir. Ancak mikrodenetleyici kendi içinde CAN denetleyicisini de barındırıyorsa Full- CAN olur.

Full-CAN de mikroişlemciye daha az yüklenilir. Ama başlangıçta CAN içermeyen bir sistemden CAN' e geçmek için half-CAN daha yararlıdır.

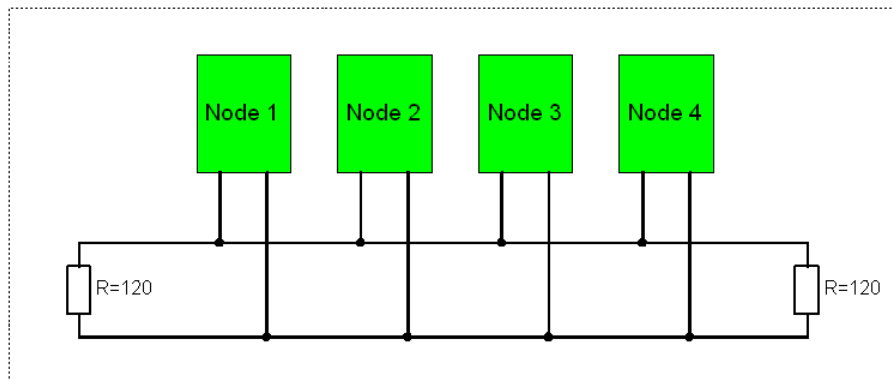
EMI:(Elektromagnetik Parazit)

CAN, elektromagnetik parazitlerden etkilenmez. Eğer elektromanyetik parazit iletim ortamını etkilerse CAN_H, CAN_L aynı şekilde etkileneceğinden sistemler sorunsuzca çalışır. CAN_H, CAN_L, CAN_BUS da kullanılan sinyalleşmedir. Lojikten bilinen sıfır ve birler gibi.

Sonuç olarak mesaj içerikli haberleşmenin getirdiği kablolama kolaylığı ve bunun getirdiği düşük maliyet, hata tespit rutinlerinin çok güçlü olmasının getirdiği güvenilirlik, yeni ünitelerin eklenmesi için sistemde değişime gitmemenin getirdiği kolaylık, saniyede 10000 mesaj iletimi sağlaması CAN-BUS'ın önemli avantajlarıdır. Şekil 4.21'de Can-Bus iletişim protokolü ve Şekil 4.22'de Can-Bus İletişim Hattı gösterilmiştir.



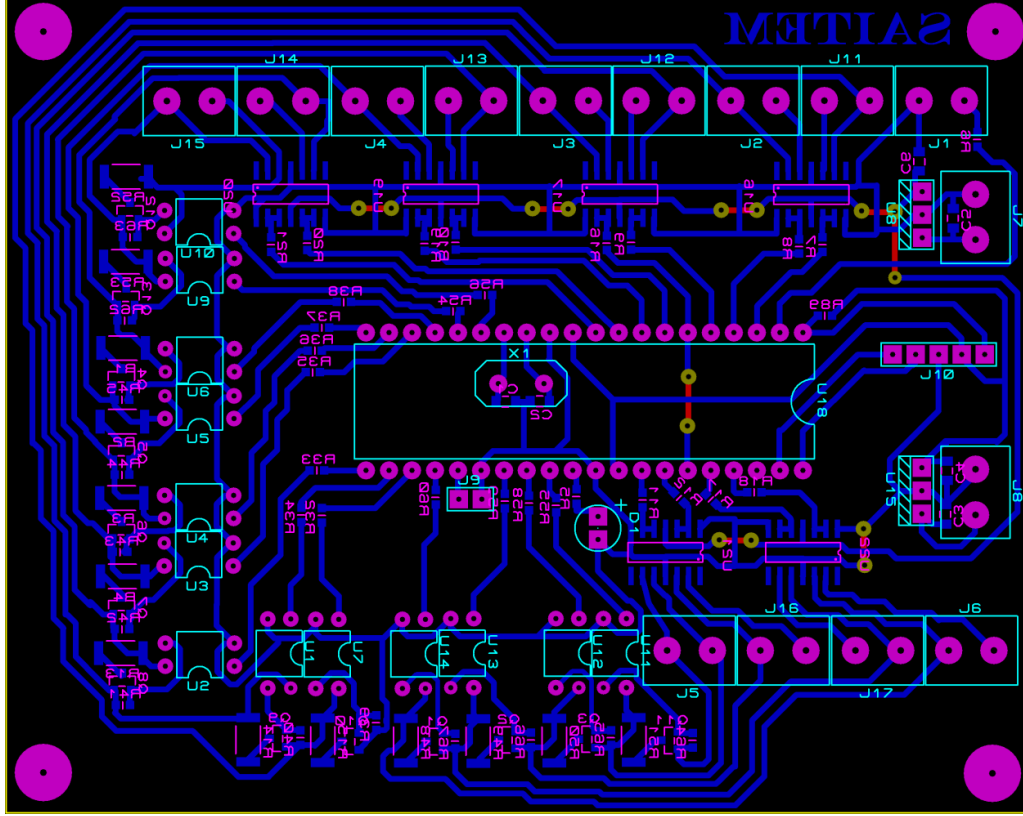
Şekil 4.21. Can-Bus iletişim protokolü.



Şekil 4.22. Can-Bus iletişim hattı.

4.4.2. Tasarım 4: 13 Seri BYS Baskı Devre Şeması, 3D Görüntüsü ve Tasarımı

Şekil 4.23'de 13 adet seri bataryayı dengeleyebilen batarya yönetim sistemi baskı devre şeması verilmiştir.



Şekil 4.23. Tasarım 4: 13'lü batarya yönetim sistemi baskı devre şeması.

Devrenin sanal görüntüsü ve tasarlanan 13 hücreli BYS resmi ekte Şekil EK B.7 ve Şekil EK B.8'de yer almaktadır.

4.5. TASARIM 5: AKTİF DENGELEME YÖNTEMİ KULLANILARAK BATARYALARIN DENGELENMESİ

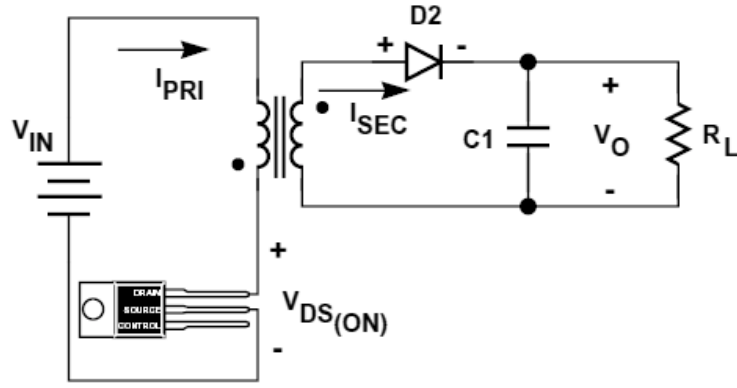
Tez çalışması kapsamında yapılan son tasarım olan aktif dengeleme özelliğine sahip transformatörlü batarya yönetim sistemi tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım 6 batarya hücrelerini aktif dengeleme ile dengelemektedir. Transformatörlü aktif dengeleme batarya yönetim sisteminde enerji dönüşümü metodundan yararlanılarak batarya hücreleri şarj ve deşarj anında dengelenmiştir. Tasarımı yapılan transformatörlü aktif

eşitleme tekniği ile batarya bloğundan alınan elektrik enerjisi transformatör yardımı ile transformatörün sargıları oranında enerji dönüşümü yapılır ve yapılan bu enerji dönüşümünü ardından enerji dengesizliği olan hücrelere bu enerji aktarılır. Bu tasarımda batarya paketinden batarya hücresine enerji aktarımı yani literatürde Module-to-Cell olarak geçen yöntem kullanılmıştır. Transformatörlü dönüştürücü olarak da çıkış filtresinde bobin olmaması, manyetik eleman olarak sadece transformatör kullanılması, sadece bir tane yarıiletken anahtar kullanılması, verimlerinin yüksek olması sebebiyle flyback konvertör kullanılmıştır.

4.5.1. Flyback Konvertör Devresi

Kurulumunun basitliği, maliyetinin düşük olması, girişten elektriksel olarak yalıtılmış çıkış verebilmesi, yüksek çıkış gerilimleri elde edebilmesi ve yüksek verimleri nedeniyle Flyback dönüştürücüler anahtarlama güç kaynakları içinde oldukça yaygın olarak kullanılır. Flyback topolojisi özellikle yapısında kullanılan trafodan dolayı bizlere izoleli bir yapı sunar. Bu da özellikle şebekeden çalışan birçok sistem için güvenlik nedeniyle olmazsa olmazlardandır.

Flyback konvertör güç kaynağı yüksek çıkışlı anahtarlama güç kaynağından üretilmiştir ve bobinin enerji depo etme prensibine göre çalışır. Flyback güç kaynağının temel güç devresi Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Temel güç devresinde kullanılan transformatörün primer sargısı DC giriş kaynağı ve güç elemanına bağlanmıştır. Sekonder sargısı diyot üzerinden kapasite ve yüke bağlanmıştır. Flyback konvertörde genellikle güç elemanı olarak MOSFET kullanılır. MOSFET iletimde iken giriş gerilimi transformatörün primer sargısına uygulanır. Transformatörün sekonder sargısındaki diyot bu aralıkta ters kutuplanır. Dolayısıyla kaynaktan yüke enerji akışı sağlanamaz. Bu aralıkta transformatörün primer sargısı bir bobin gibi davranır ve enerji depo eder. Depo edilen enerjinin miktarı değiştirilerek çıkış gücünün kontrolü ve regülasyonu sağlanır. İstenilen çıkış gerilimini sağlamak amacıyla PWM metodu ile sabit frekansta güç elemanının iletim süresi değiştirilerek kontrol yapılması gerekir.



Şekil 4.24. Flyback güç kaynağının temel güç devresi.

Flyback güç kaynağının kalbi manyetik devre yani transformatördür. Manyetik devrenin tasarımı istenilen çıkış gücüne göre yapılır. Bu tasarım devrenin çalışma aralığını ve flyback dönüştürücünün verimini etkiler.

Flyback konvertör düşük güçlerde ilgi çekicidir. Çünkü transformatör enerjinin depo edilmesini, izolasyonu ve gerilim dönüşümünü sağlayan tek bir manyetik elemandır. Diğer dönüştürücüler ile karşılaştırıldığında, flyback dönüştürücü daha az devre elemanına sahiptir. Flyback dönüştürücülerin süreksiz çalışma durumu, yük akımı ve giriş gerilimi değişimlerine çok hızlı cevap vermesi sebebiyle daha çok tercih edilir.

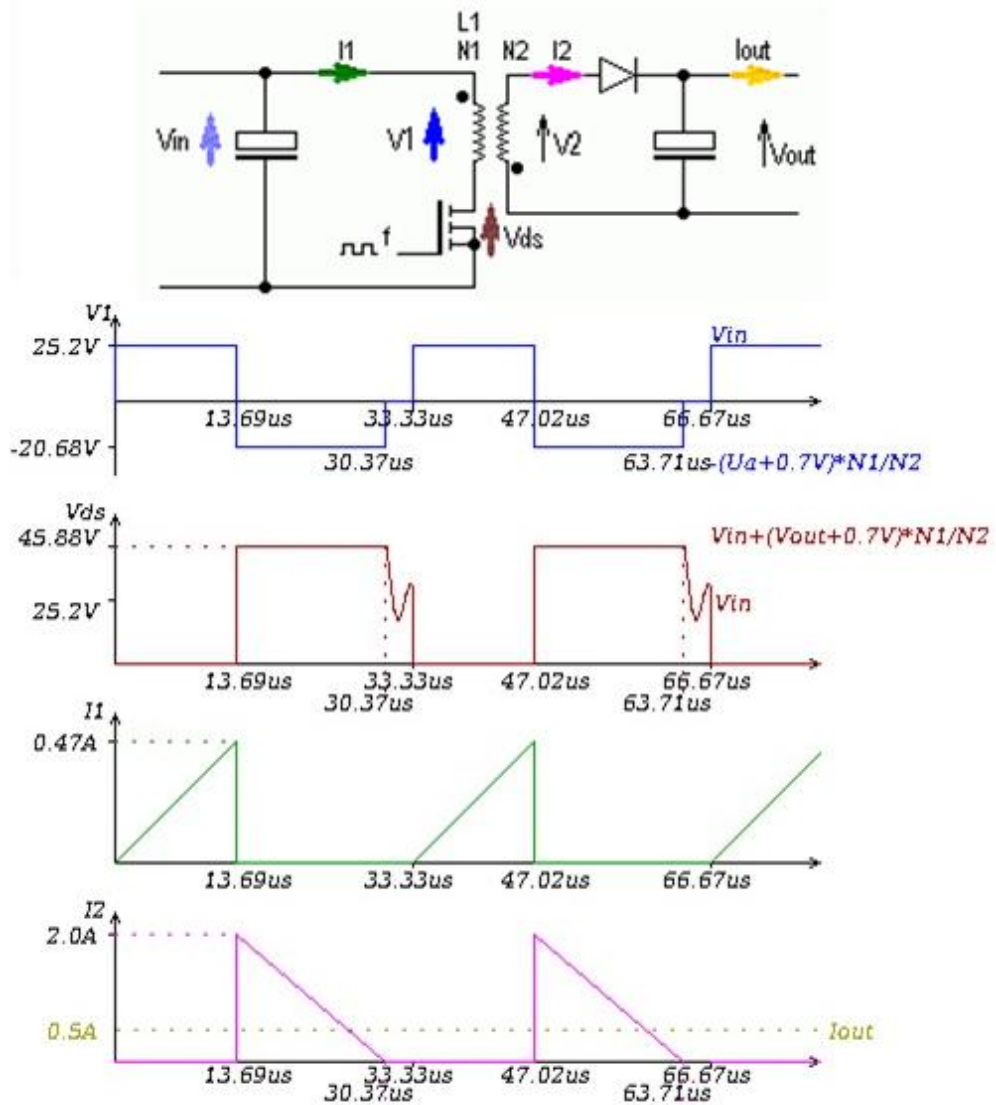
Flyback dönüştürücülerin başlıca özellikleri;

- ✓ Düşük güçler için yüksek frekanslı transformatör tasarımı basittir.
- ✓ Bileşen sayısı az olduğundan kurulum maliyeti düşüktür. Manyetik eleman olarak sadece transformatör kullanılır, çıkış filtresinde bobin yoktur.
- ✓ Diğer yapılarda filtre endüktansı üzerinde oluşan tıkama geriliminin olmaması çıkış diyotu maliyetini azaltır.
- ✓ Çıkış devresinde sekonder bobini dışında fazladan bobin yoktur. Çok çıkışlı kaynak olarak kullanımını kolaylaştırır.
- ✓ Çıkış bobini olmadığından geçici durumlara hızlı cevap verir.

Bu tasarım kapsamında bir flyback konvertör tasarımı yapılmış ve Çizelge 4.3’de flyback konvertörün değerleri, Şekil 4.25’de tasarımı yapılan flyback konvertörün grafikleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Flyback konvertörün değerleri.

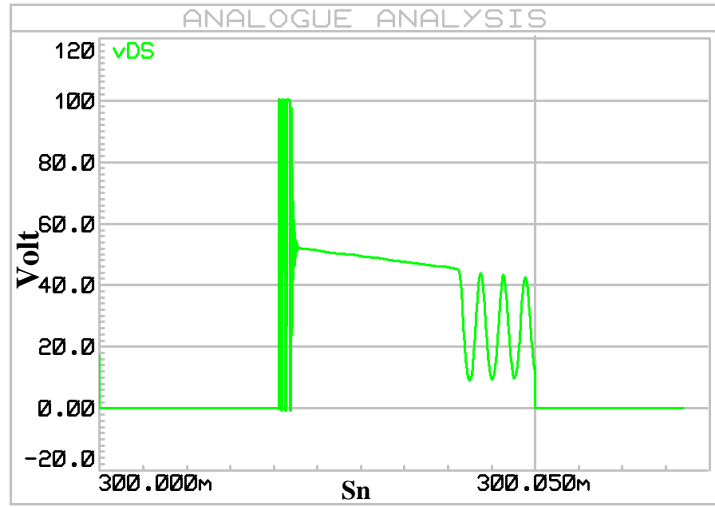
$V_{in_min} = 16.2V$	$V_{in_max} = 25.2V$	$V_{in} = 25.2V$
$V_{out} = 4.2V$	$I_{out} = 0.5A$	
$L_1 = 728.7\mu H$	$N_1/N_2 = 4.22$	$L_2 = 40.9\mu H$



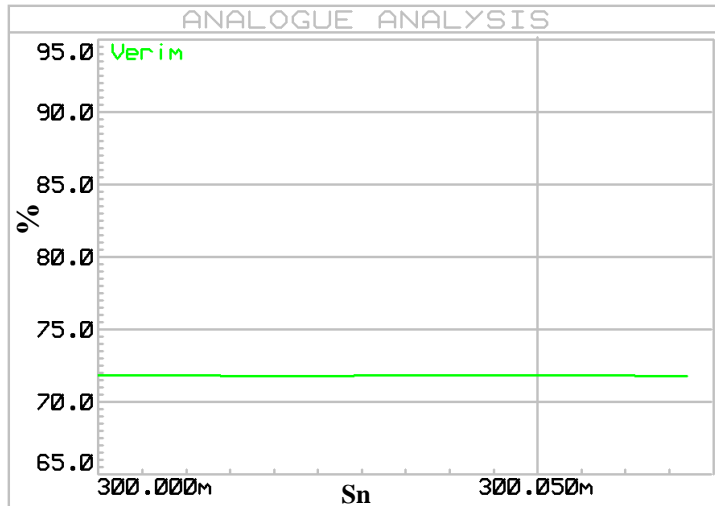
Şekil 4.25. Flyback konvertör grafikleri.

Tasarımı yapılan flyback konvertör en iyi çalışma değerini yakalayabilmek için simülasyon programı yardımı ile frekansı (20KHz, 25KHz, 30 KHz, 40 KHz), görev çevrim süresi ve MOSFET'leri değiştirerek simülasyonları yapılmıştır.

İlk olarak flyback konvertör devresi 20 KHz çalışma frekansı ile denenmiş Şekil 4.26'da MOSFET Vds gerilimi ve Şekil 4.27'de konvertör verimi grafiği gösterilmiştir.

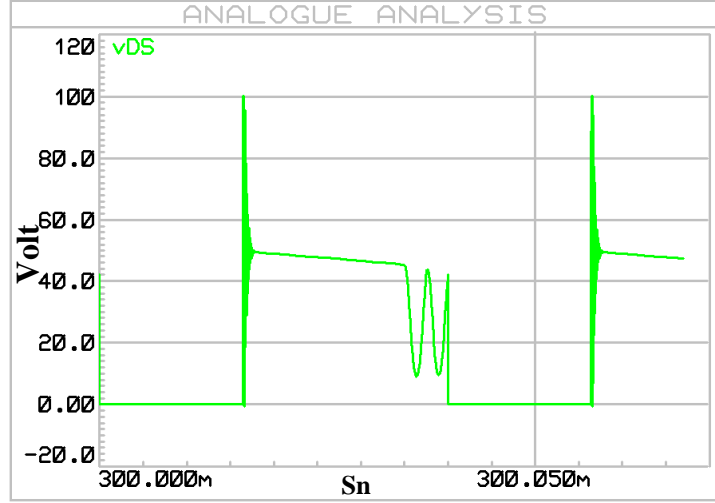


Şekil 4.26. 20 KHz çalışma frekansında Vds gerilim grafiği.

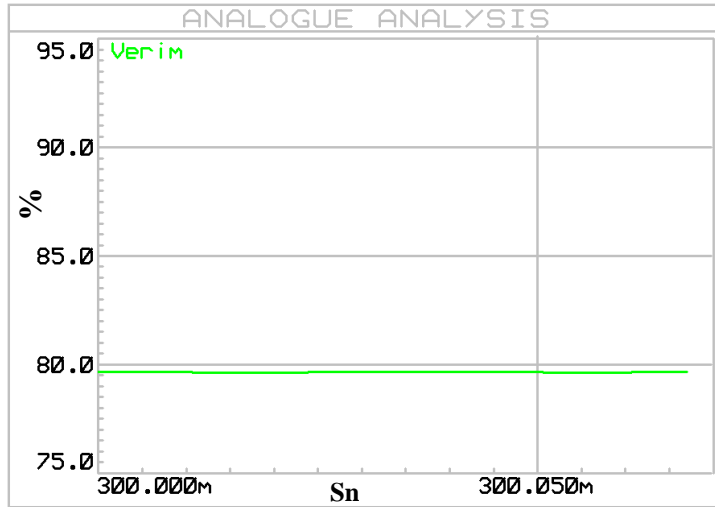


Şekil 4.27. 20 KHz çalışma frekansında verimi grafiği.

İkinci olarak flyback konvertör devresi 25 KHz çalışma frekansı ile denenmiş Şekil 4.28'de MOSFET Vds gerilimi ve Şekil 4.29'de konvertör verimi grafiği gösterilmiştir.

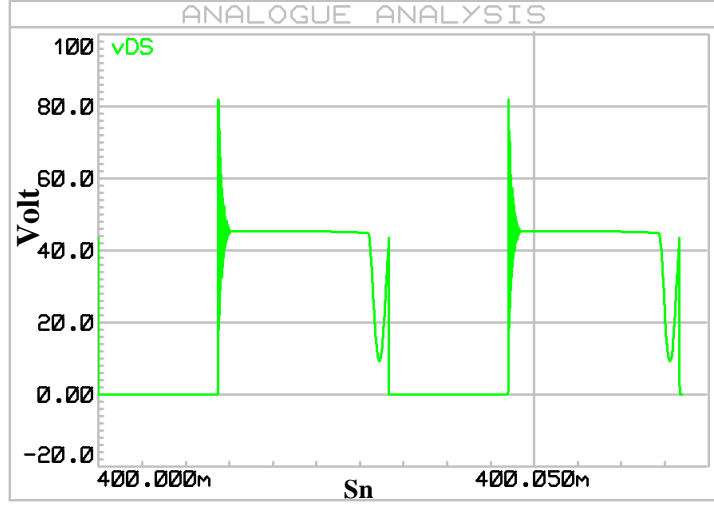


Şekil 4.28. 25 KHz çalışma frekansında Vds gerilim grafiği.

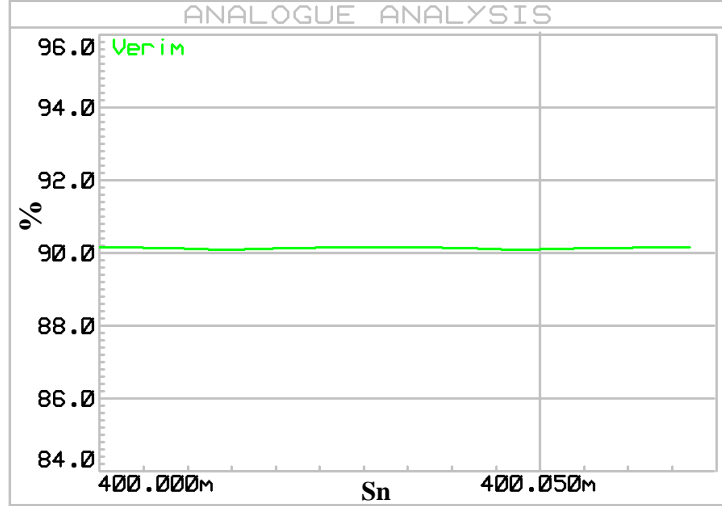


Şekil 4.29. 25 KHz çalışma frekansında verimi grafiği.

Üçüncü olarak flyback konvertör devresi 30 KHz çalışma frekansı ile denenmiştir. Şekil 4.30'da MOSFET Vds gerilimi ve Şekil 4.31'de konvertör verimi grafiği gösterilmiştir.

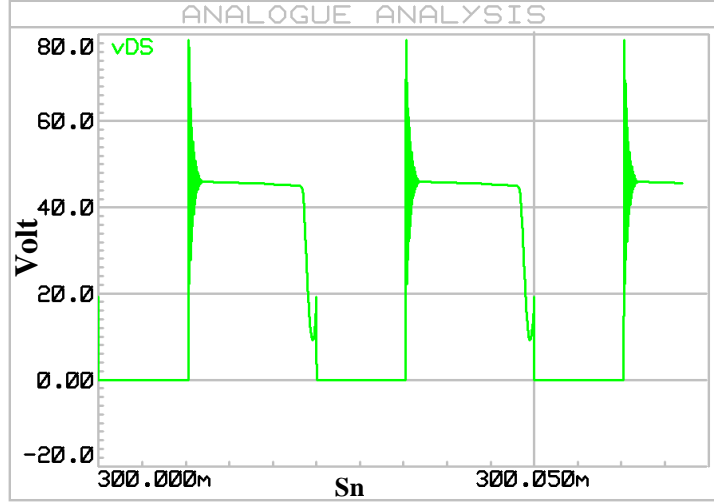


Şekil 4.30. 30 KHz çalışma frekansında Vds gerilim grafiği.

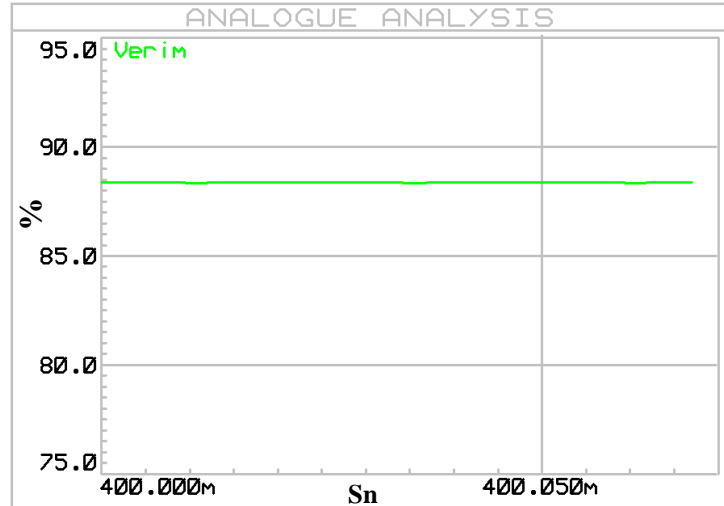


Şekil 4.31. 30 KHz çalışma frekansında verimi grafiği.

Son olarak flyback konvertör devresi 40 KHz çalışma frekansı ile denenmiş Şekil 4.32'de MOSFET Vds gerilimi ve Şekil 4.33'de konvertör verimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.32. 40 KHz çalışma frekansında Vds gerilim grafiği.

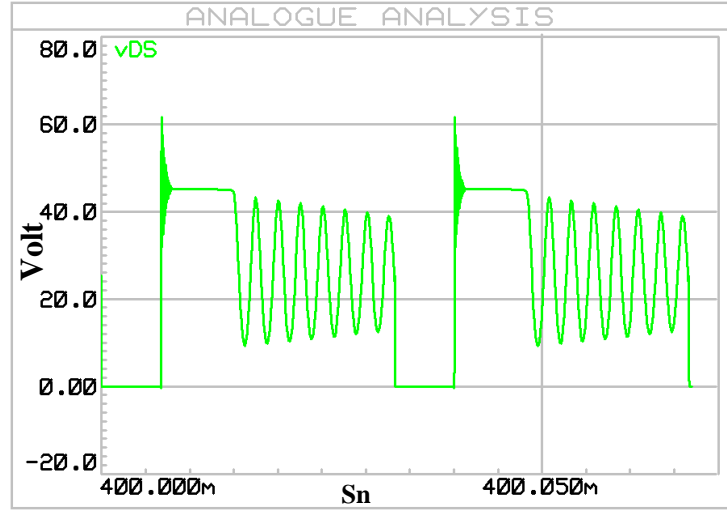


Şekil 4.33. 40 KHz çalışma frekansında verimi grafiği.

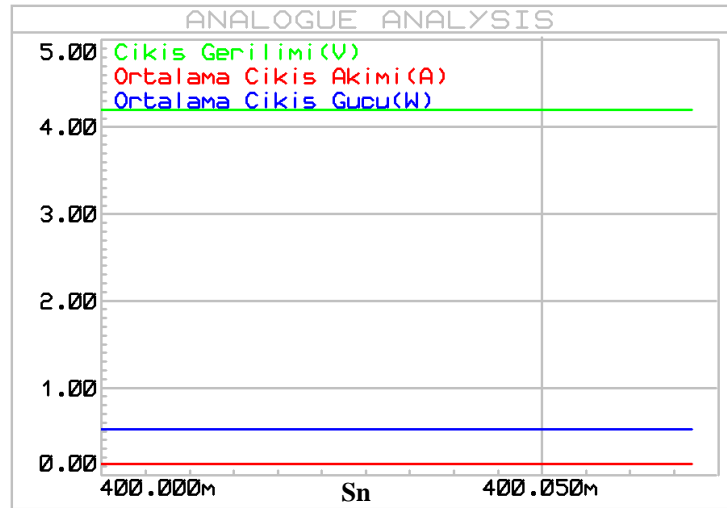
Çeşitli frekans değerleri denenerek Vds gerilim sinyalinde oluşan salınımlar incelenmiştir. Frekans değerlerinde salınımlar değişkenlik göstermektedir. Yapılan simülasyonlar ve değerlendirmeleri sonucunda 30 KHz çalışma frekansının test edilen frekans değerleri arasında en yüksek verim oranına ve en düşük salınıma sahip ideal değer olduğu tespit edilmiştir.

Daha sonrasında en verimli frekans değeri tespit edilen flyback konvertör devresi görev çevrim süresi değiştirilerek simülasyon programı yardımı ile devrenin çıkış tepkisi analiz edilmiştir.

İlk olarak flyback konvertör devresi %20 görev süresinde denenmiştir. Şekil 4.34’de MOSFET Vds gerilimi ve Şekil 4.35’de konvertör çıkış değerlerinin grafiği gösterilmiştir.

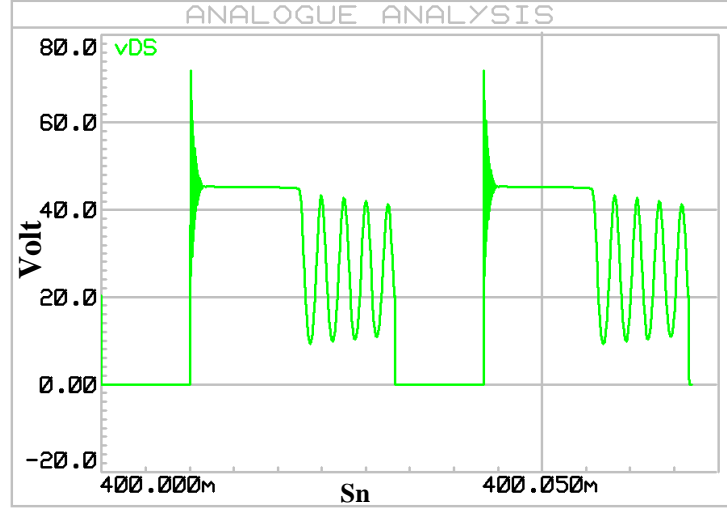


Şekil 4.34. %20 görev çevrim süresinde Vds gerilim grafiği.

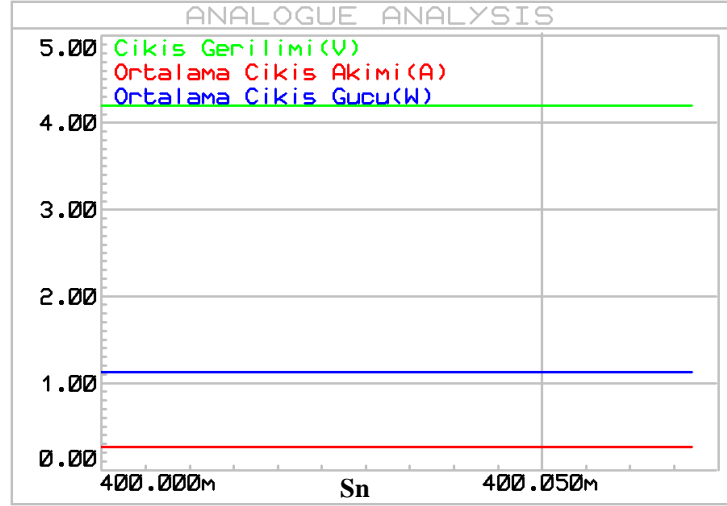


Şekil 4.35. %20 görev çevrim süresinde çıkış değerleri.

İkinci olarak flyback konvertör devresi %30 görev süresinde denenmiştir. Şekil 4.36’da MOSFET Vds gerilimi ve Şekil 4.37’de konvertör çıkış değerlerinin grafiği gösterilmiştir.

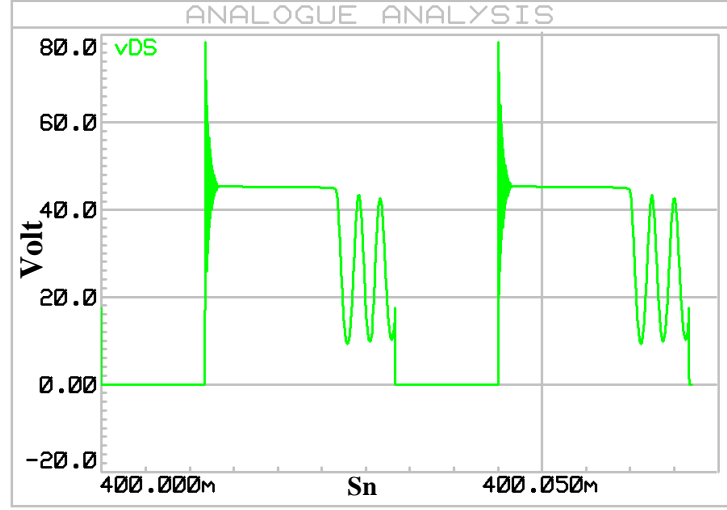


Şekil 4.36. %30 görev çevrim süresinde Vds gerilim grafiği.



Şekil 4.37. %30 görev çevrim süresinde çıkış değerleri.

Üçüncü olarak flyback konvertör devresi %35 görev süresinde denenmiştir. Şekil 4.38’de MOSFET Vds gerilimi ve Şekil 4.39’da konvertör çıkış değerlerinin grafiği gösterilmiştir.

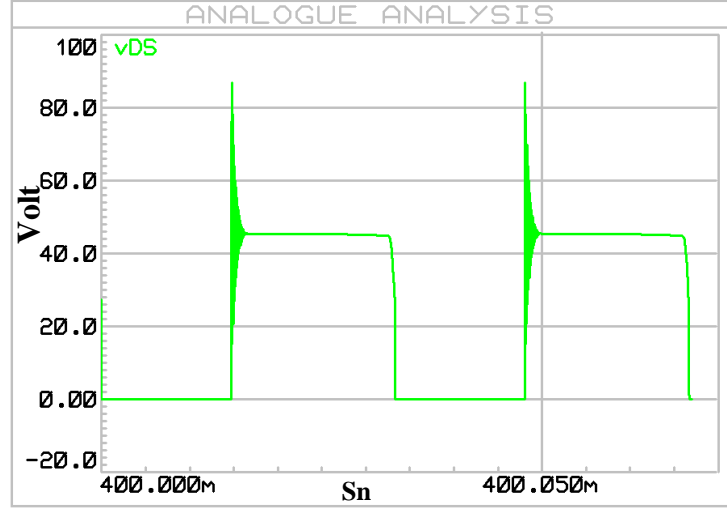


Şekil 4.38. %35 görev çevrim süresinde Vds gerilim grafiği.

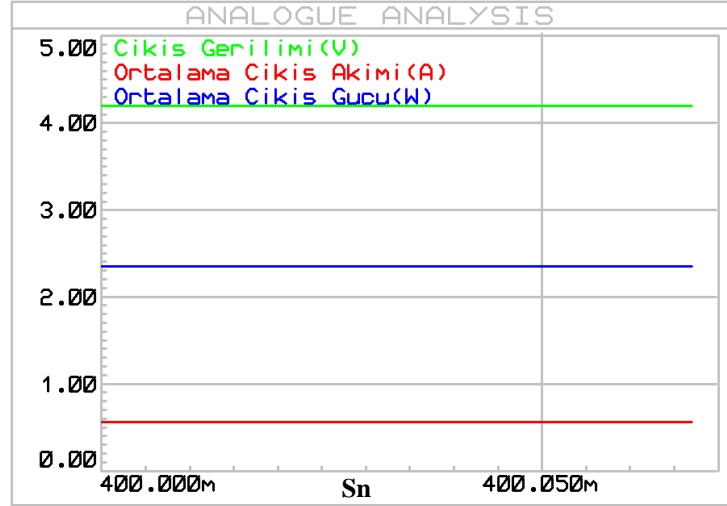


Şekil 4.39. %35 görev çevrim süresinde çıkış değerleri.

Tasarımı yapılan flyback konvertör devresi son olarak %44 görev süresinde denenmiştir. Şekil 4.40’da MOSFET Vds gerilimi ve Şekil 4.41’de konvertör çıkış değerlerinin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.40. %44 görev çevrim süresinde Vds gerilim grafiği.

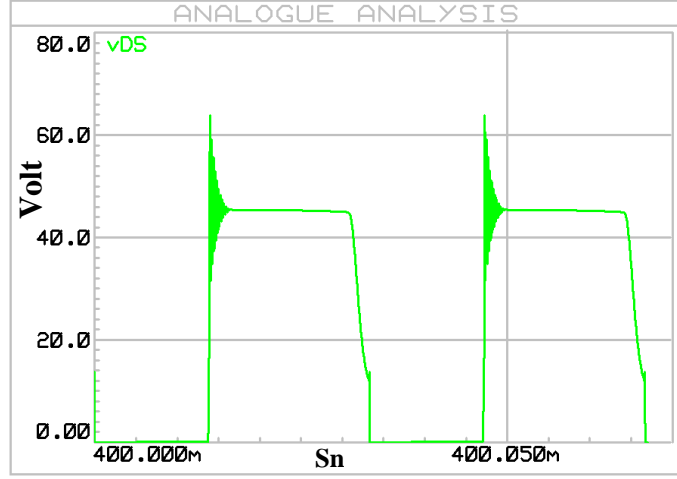


Şekil 4.41. %44 görev çevrim süresinde çıkış değerleri.

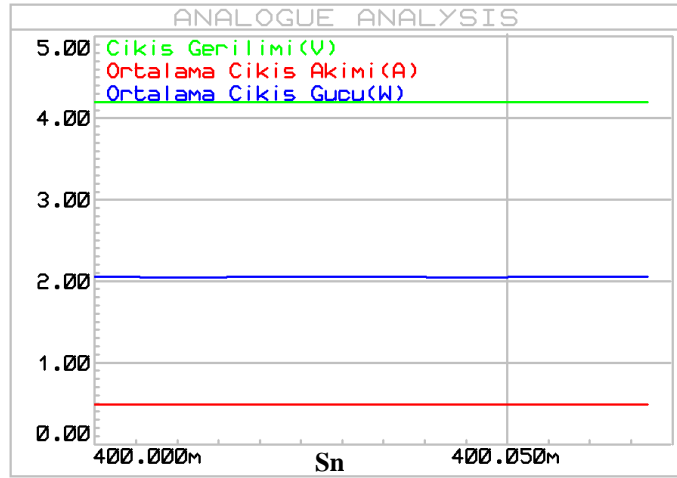
Yapılan simülasyonlar ve değerlendirmeler sonucunda dengeleme süresini kısaltmak amacıyla %35 ile %45 görev çevrim süresi değerleri arasında çalışmanın uygun olacağı tespit edilmiştir. %45 ve üzeri görev çevrim sürelerinde flyback konvertör süreksiz akım çalışma modunda çalışmayacağı için sistemin bu değerlerde çalışması uygun görülmemiştir.

Sonrasında flyback konvertör devresi farklı MOSFETler kullanılarak simülasyon programı yardımı ile devrenin çıkış tepkisi analiz edilmiştir.

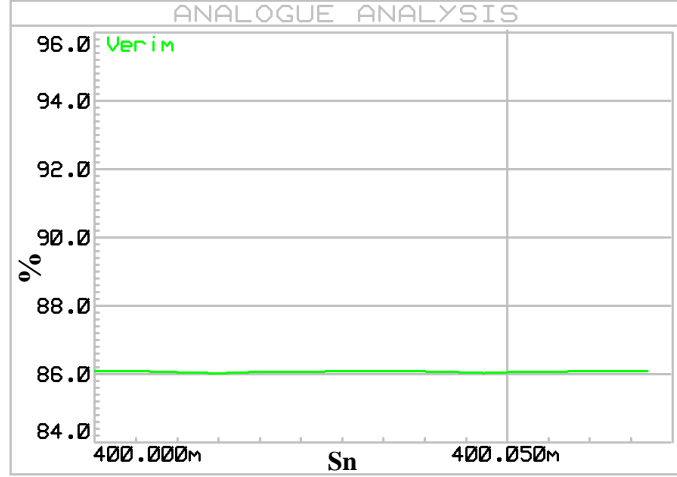
İlk olarak flyback konvertör devresi IRFP460 MOSFET'i ile denenmiştir. Şekil 4.42'de MOSFET'in Vds gerilimi, Şekil 4.43'de konvertör çıkış değerleri ve Şekil 4.44'de konvertör veriminin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.42. IRFP460 kullanıldığında Vds gerilim grafiği.

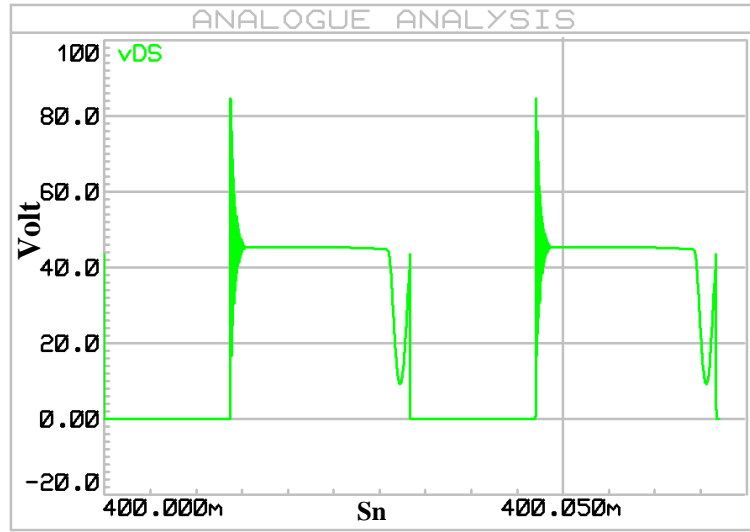


Şekil 4.43. IRFP460 kullanıldığında çıkış değerleri.

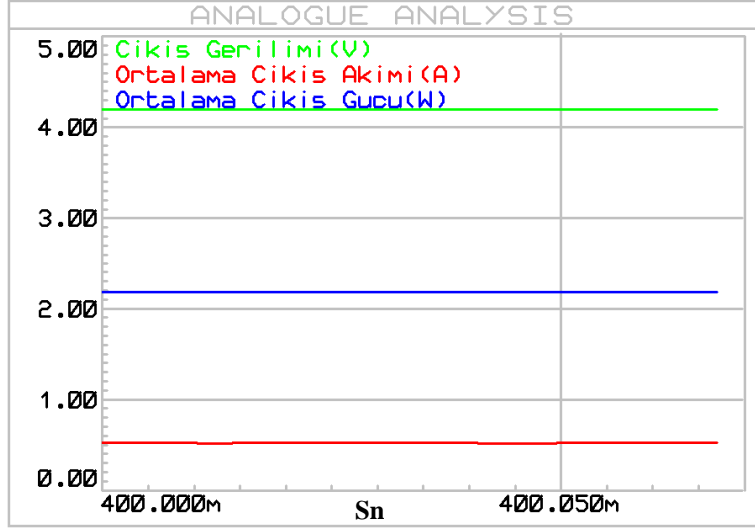


Şekil 4.44. IRFP460 kullanıldığında verim grafiği.

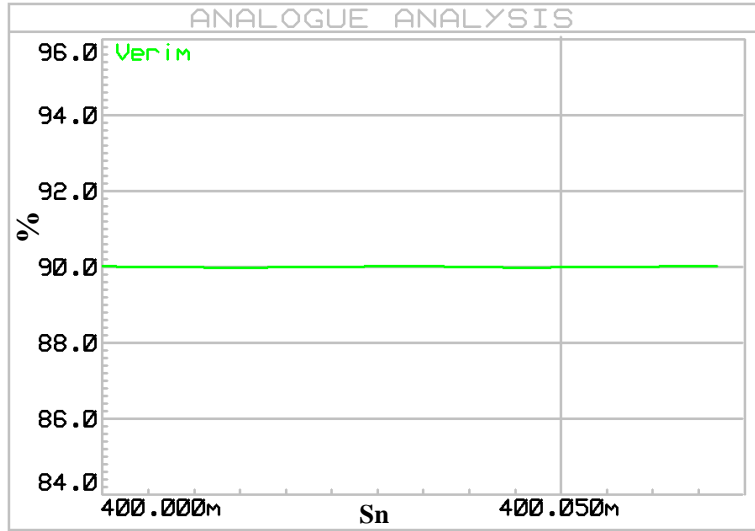
Sonrasında flyback konvertör devresi IRF540Z MOSFET'i ile denenmiştir. Şekil 4.45'de MOSFET'in Vds gerilimi, Şekil 4.46'da konvertör çıkış değerleri ve Şekil 4.47'de konvertör veriminin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.45. IRF540Z kullanıldığında Vds gerilim grafiği.

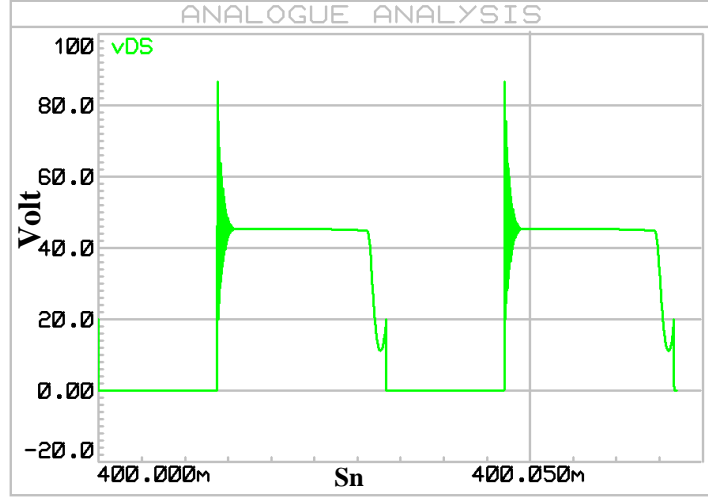


Şekil 4.46. IRF540Z kullanıldığında çıkış değerleri.

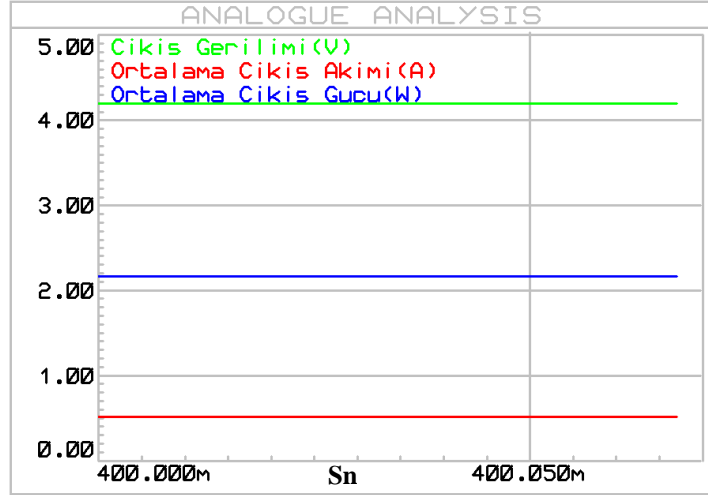


Şekil 4.47. IRF540Z kullanıldığında verim grafiği.

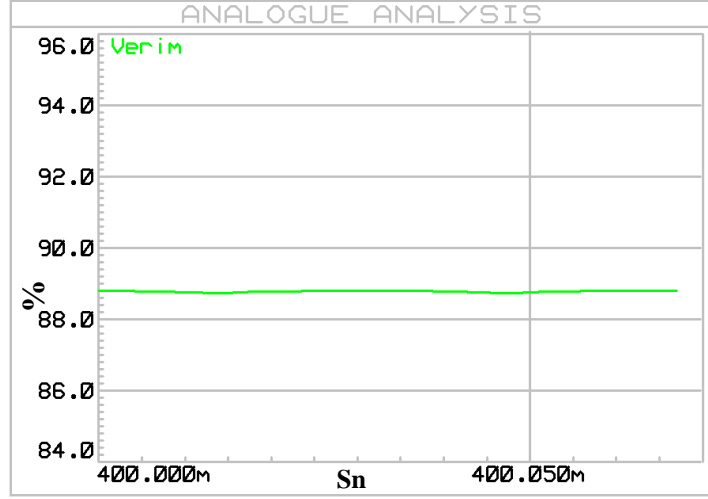
Flyback konvertör devresi IRF540N MOSFET'i ile denenmiştir. Şekil 4.48'de MOSFET'in Vds gerilimi, Şekil 4.49'da konvertör çıkış değerleri ve Şekil 4.50'de konvertör veriminin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.48. IRF540N kullanıldığında Vds gerilim grafiği.

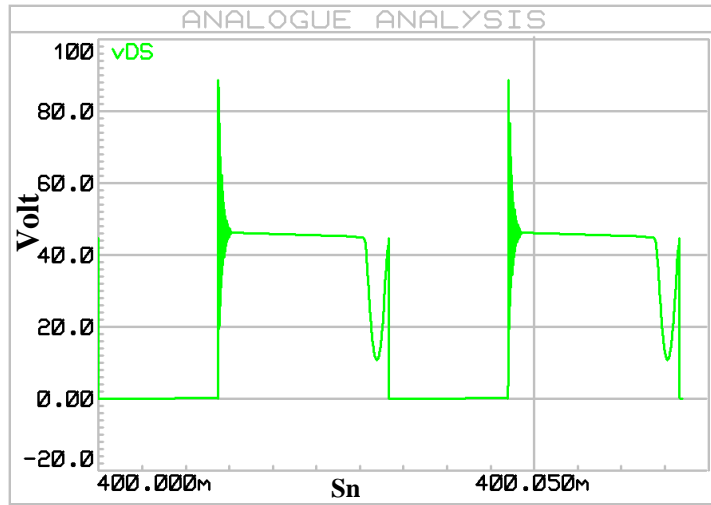


Şekil 4.49. IRF540N kullanıldığında çıkış değerleri.

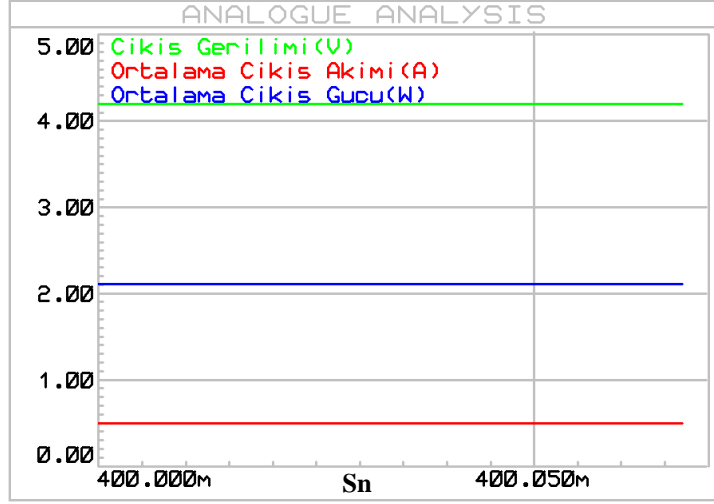


Şekil 4.50. IRF540N kullanıldığında verim grafiği.

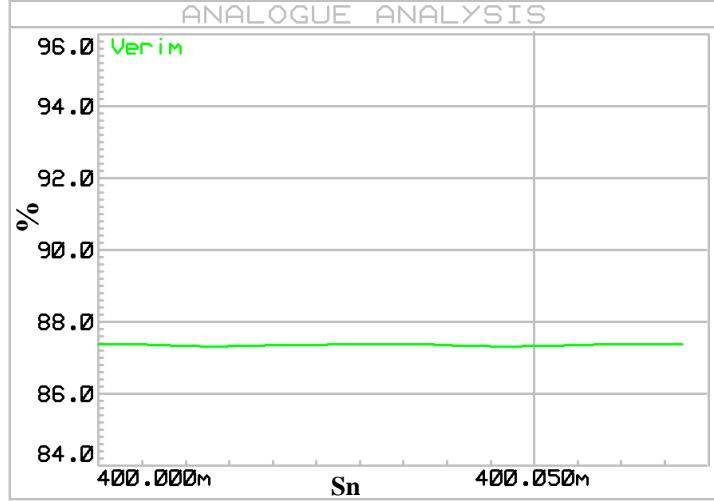
Tasarımı yapılan flyback konvertör devresi son olarak IRF630 MOSFET'i ile denenmiştir. Şekil 4.51'de MOSFET'in Vds gerilimi, Şekil 4.52'de konvertör çıkış değerleri ve Şekil 4.53'de konvertör veriminin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.51. IRF630 kullanıldığında Vds gerilim grafiği.



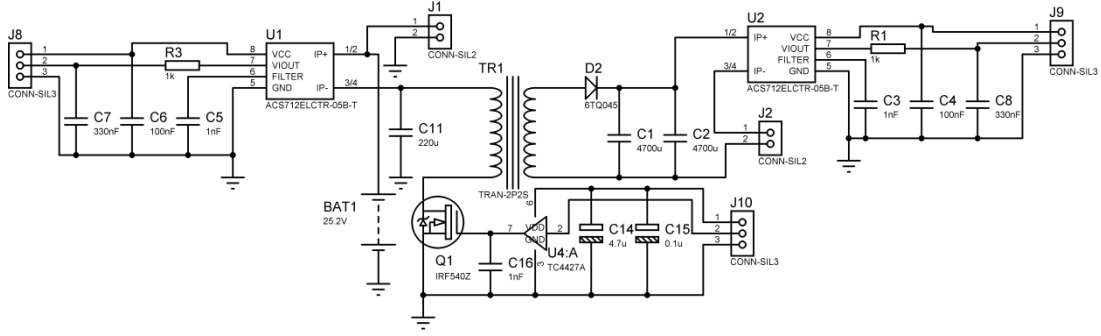
Şekil 4.52. IRF630 kullanıldığında çıkış değerleri.



Şekil 4.53. IRF630 kullanıldığında verim grafiği.

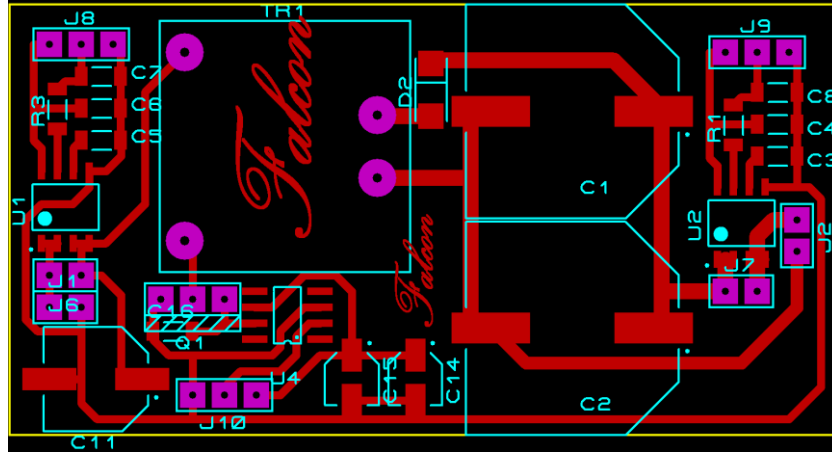
Aynı frekans, aynı görev çevrim süresinde yapılan simülasyonlar ve değerlendirmeler sonucunda IRFP460 MOSFET'in, girişine uygulanan sinyale yeterli hızda cevap veremediği saptanmıştır. IRF540N ve IRF630 serisi MOSFET'lerinde iç dirençleri sebebi ile verim grafiklerinde görüldüğü gibi verim değerleri düşük kalmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda IRF540Z MOSFET'i, düşük iç direnci sayesinde %90 verim oranına ulaşılması nedeni ile flyback konvertör devresinde kullanılmasına karar verilmiştir.

Simülasyon programında analizlerden sonra flyback konvertörün baskı devre tasarımına başlanmıştır. Fly-back konvertörün açık devre şeması Şekil 4.54’de gösterilmiştir.



Şekil 4.54. Flyback konvertör devresi.

Şekil 4.54’deki devrede J1 konnektörüne batarya paketi bağlanmaktadır ve devrenin girişidir. Devrenin girişini göstermek için temsili olarak BAT1 isimli batarya bloğu bağlanmıştır. J2 konnektörü ise devrenin çıkışıdır ve role kartına bağlanarak bataryalar arasından anahtarlama ile seçim yapılmıştır. U1 ve U2 akım sensörleri sayesinde devrenin giriş, çıkış akımları ölçülmekte ve J8, J9 konnektörleri sayesinde mikrodenetleyiciye bağlanmaktadır. Akım sensörlerinin çıkışına 1kΩ direnç ve 330nF kondansatör koyularak RC filtre yapılmış ve ölçümdeki dalgalanmalar azaltılmaya çalışılmıştır. Flyback konvertörün çıkışındaki 2 tane 4700µF’lık kondansatörlerle de gerilim dalgalanmaları önlenmeye çalışılmıştır. Bu devrede MOSFET sürücüsü olarak TC4427 MOSFET sürücü entegresi kullanılmış, J10 konnektörü sayesinde TC4427 MOSFET sürücünün beslemesi ve devrenin PWM sinyali uygulanmıştır. Daha sonra baskı devresi çizilmiştir. Baskı devre çizimi Şekil 4.55’de, baskı devrenin simülasyon programındaki 3 boyutlu görüntüsü ise ekte Şekil EK B.9’da yer almaktadır.



Şekil 4.55. Flyback konvertör devresi baskı devre şeması.

Tasarımı yapılan flyback konvertör devresinin baskı devre kartının üretilmiş ve devre elemanlarının montaj hali ekte Şekil EK B.10'da, flyback konvertör devresinin osilaskop çıktısı ise Şekil 4.56'da gösterilmiştir.



Şekil 4.56. Flyback konvertör devresinin osilaskop çıktısı(Sarı PWM sinyali, Mavi Vds voltajı).

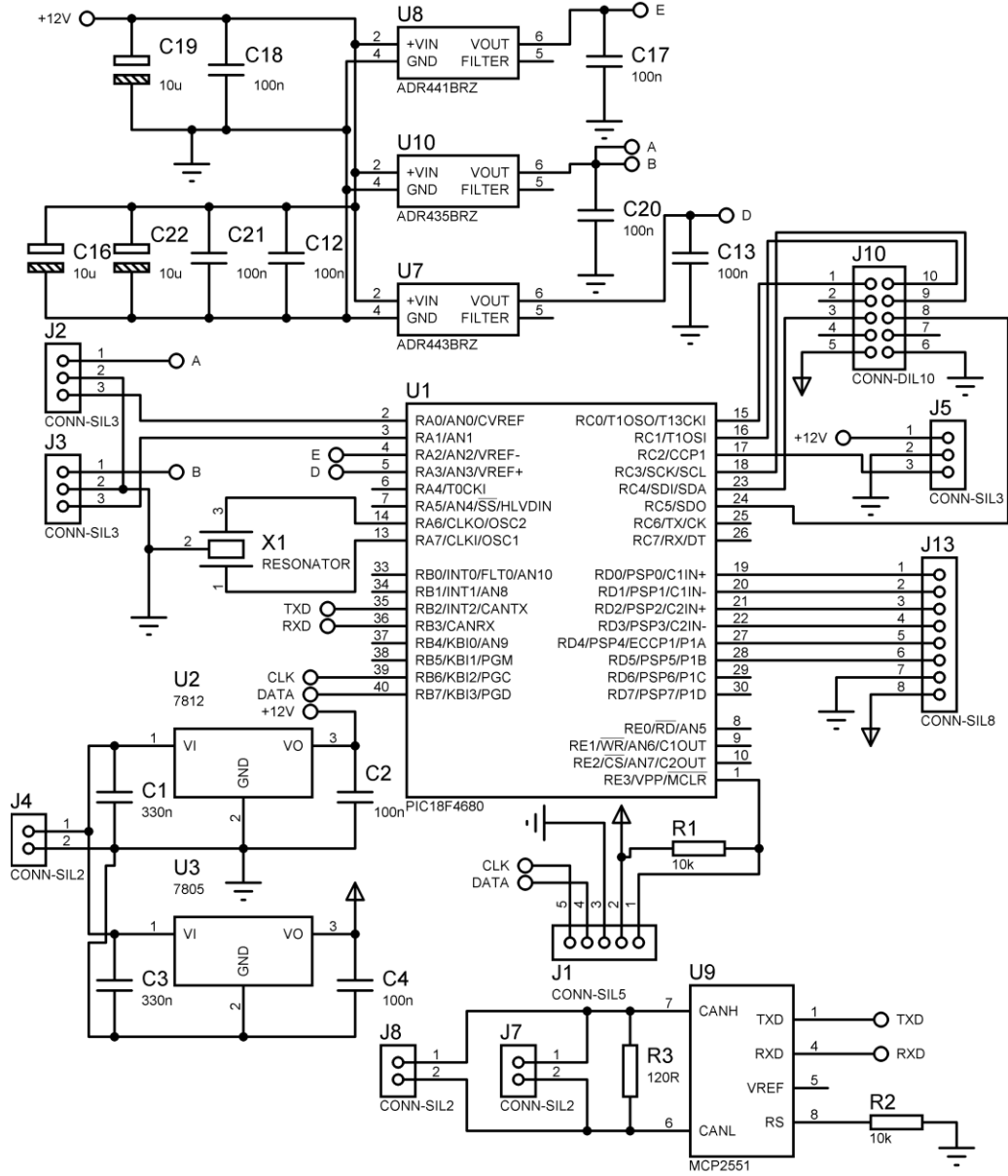
Devrenin üretiminden sonra yapılan testlerde Şekil 4.56'daki osilaskop sonucu elde edilmiştir. Şekil 4.56'da görülen sarı renkteki osilaskobun CH1 kanalından ölçülen sinyal, MOSFET'in gate ucuna uygulanan PWM sinyali ve mavi renkteki

osilaskobun CH2 kanalından ölçülen sinyal MOSFET'in Vds (drain-source arası) voltajıdır.

4.5.2. Flyback Konvertör Kontrolcü Devresi

Flyback konvertör devresinin PWM sinyalini üretmek, flyback konvertörün giriş, çıkış akımlarının kontrol etmek, flyback konvertörün çıkışına bağlanan röleleri kontrol etmek amacıyla bir flyback konvertör kontrol devresi tasarımı yapılmıştır. Şekil 4.57'de gösterilmiştir.

Bu devre voltaj ölçüm devresinde ölçülen batarya hücreleri gerilim bilgilerini Can-Bus haberleşme sistemi ile haberleşerek alır ve değerlendirir. Bu değerlendirme sonucunda hangi batarya hücrelerini dengeleyeceğine karar verir ve flyback konvertörün dengeleyeceği hücreye bağlantısını sağlar.



Şekil 4.57. Flyback konvertör kontrol devresi.

Şekil 4.57’de açık devre şeması görünen flyback konvertör kontrol devresinde devrenin beslemesi J4 konnektöründen vermiş ve konnektör batarya paketine bağlanmıştır. Devrede 7805, 7812 gerilim regülatör entegreleri sayesinde 5 volt ve 12 volt olmak üzere 2 farklı gerilim seviyesi bulunmaktadır.

12 volt ile U7, U8, U10 referans voltaj entegreleri ve J5 konnektörü ile flyback konvertörde bulunan TC4427 MOSFET sürücüsünün beslemesi sağlanmaktadır. Ayrıca J5 konnektöründen mikrodenetleyicinin üretmiş olduğu PWM sinyali flyback

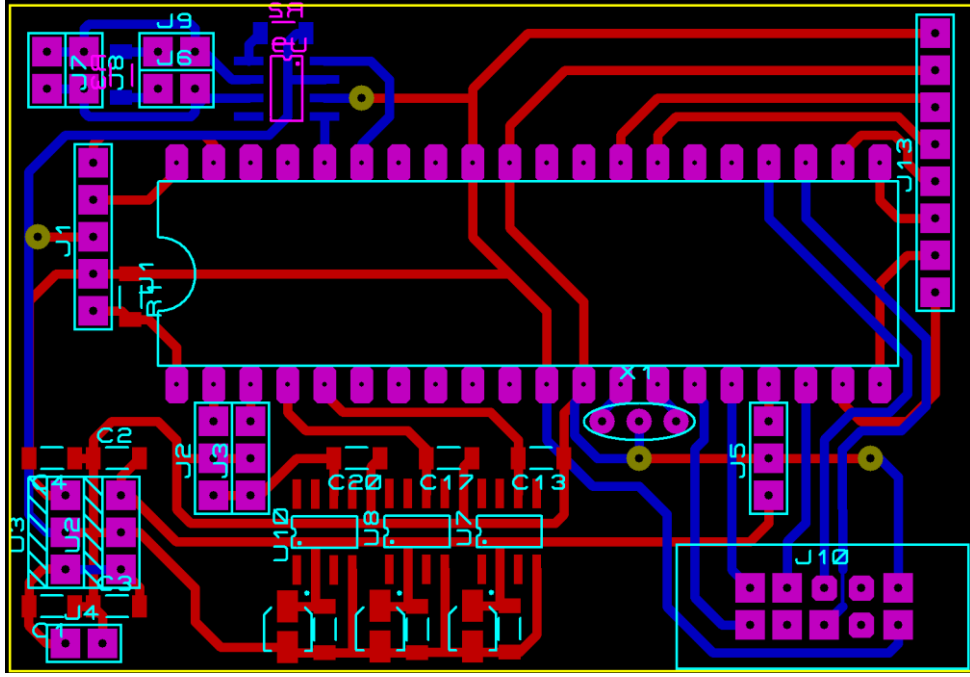
konvertör kartındaki TC4427 MOSFET sürücüsünün girişine gitmektedir. 5 volt ile mikrodenetleyicinin, role kartındaki rölelerin ve MCP2551 Can-Bus haberleşme entegresinin beslemesi sağlanmaktadır.

Devrede 3 farklı referans voltaj entegresi kullanılmıştır. Bunların sebebi kullanılan referans voltaj entegrelerinin çıkış hassasiyetlerinin düşük olması ve hata oranı düşük tasarımlar yapılmak istenmesidir. Devrede kullanılan referans voltaj entegrelerinden 5 volt referans voltaj entegresi ADR435BRZ ile flyback konvertör kartındaki ACS712 akım sensörlerinin beslemesi sağlanmaktadır ve J2, J3 konnektörleri sayesinde flyback konvertör devresindeki akım sensörlerine bağlantı yapmaktadır.

Flyback konvertör devresinde tek yönlü akım geçişi olduğu için ve bu tek yönlü akım ölçümünde ACS712 entegresinin çıkış değerinin sürekli 2,5 voltun üzerinde olması nedeniyle bu devrede 2,5 volt referans voltaj entegresi ADR441BRZ kullanılmıştır. Ayrıca ölçeceğimiz akım aralığına biraz daha yaklaşabilmek için 3 volt referans voltaj entegresi ADR443BRZ kullanılmıştır. Bu sayede ölçüm aralığı daraltılarak mikrodenetleyicinin daha hassas ölçüm yapması sağlanmıştır.

Şöyle örnek vermek gerekirse bu devre $(5000\text{mV}-0\text{V})/1023=4,88\text{mV}$ yerine $(3000\text{mV}-2500\text{mV})/1023=0,48\text{mV}$ ölçüm hassasiyetine sahiptir. Bu da daha hassas akım ölçüm yapmasını sağlamaktadır.

Devrenin tasarımı bittikten sonra baskı devresi çizilmiştir. Baskı devre çizimi Şekil 4.58'de, çizilen baskı devrenin simülasyon programındaki 3 boyutlu görüntüsü ise ekte Şekil EK B.11'de yer almaktadır.

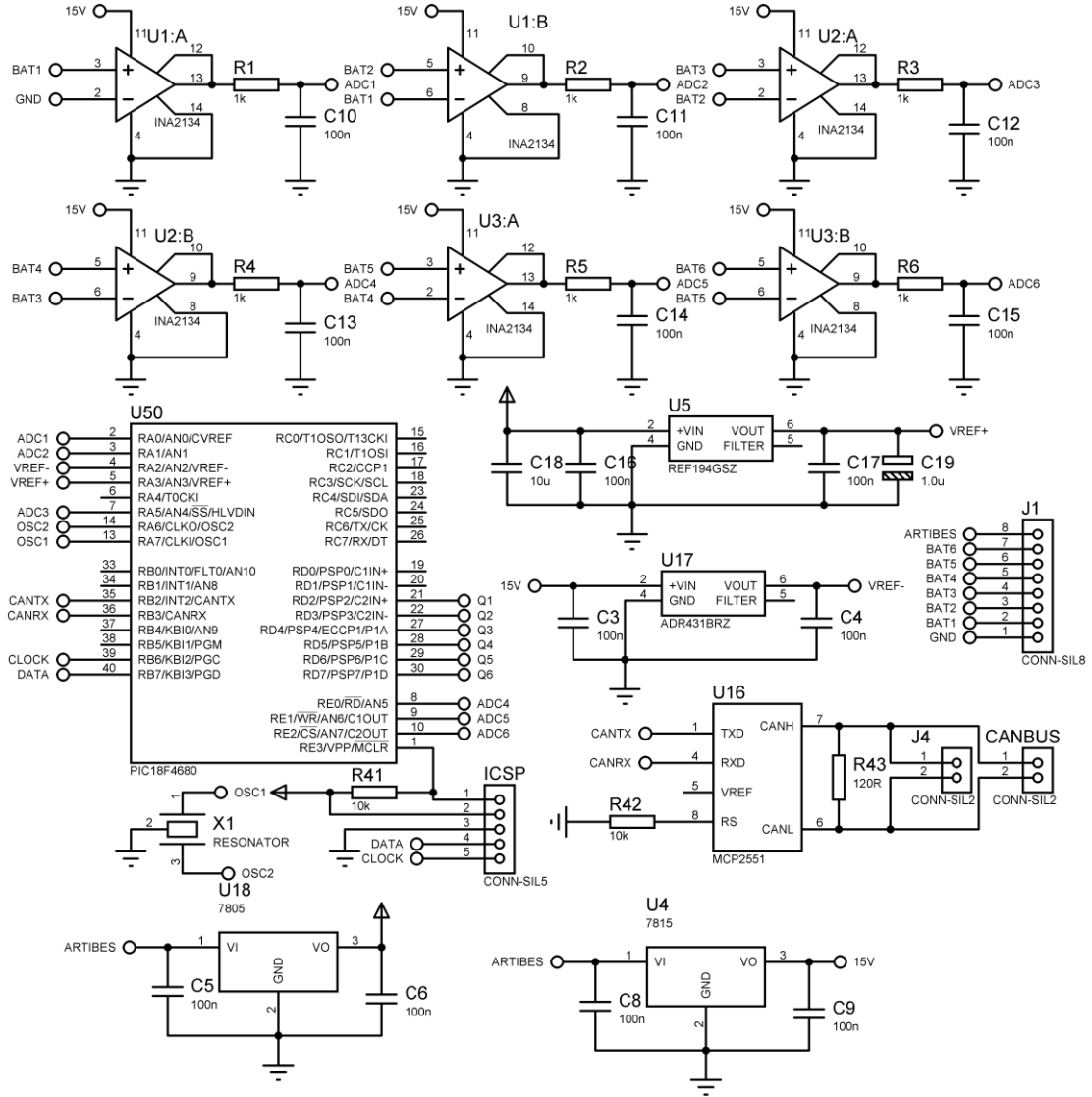


Şekil 4.58. Flyback konvertör kontrol devresi baskı devre şeması.

Tasarımı yapılan flyback konvertör kontrol devresinin baskı devre kartının üretilmiş ve devre elemanlarının montaj hali ekte Şekil EK B.12’de gösterilmiştir.

4.5.3. Batarya Hücrelerinin Gerilimlerinin Ölçüm Devresi

Batarya yönetim sisteminde enerji dengesizliği olan hücrelerin tespiti için batarya paketinde bulunan batarya hücrelerinin voltajlarının ayrı ayrı ve hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Aktif batarya yönetim sisteminde diğer tasarımlarda anlatıldığı gibi sistemin çalışabilmesi için mikrodenetleyicinin ADC girişlerinden gelecek voltaj değerlerine ihtiyacı vardır. Bataryalarımız seri bağlı olduğundan $6 \times 4.2V = 25.2V$ ’a ulaşmaktadır. Tasarımlarda kullanılan mikrodenetleyicinin maksimum giriş voltajı 5 voltur. Seri bağlı batarya voltajlarının kullanılan mikrodenetleyiciye göre yüksek voltajda olması sebebiyle ADC girişine direk uygulanamaz. Bu yüzden bataryaların farkını alacak Op-Amp’lı fark yükseltici kullanılmıştır. Op-Amp olarak diğer tasarımlarda kullanılan INA2134 entegresi tercih edilmiş, devre tasarımı yapılmış ve Şekil 4.59’da devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.59. Hücre gerilimlerini ölçüm devresi.

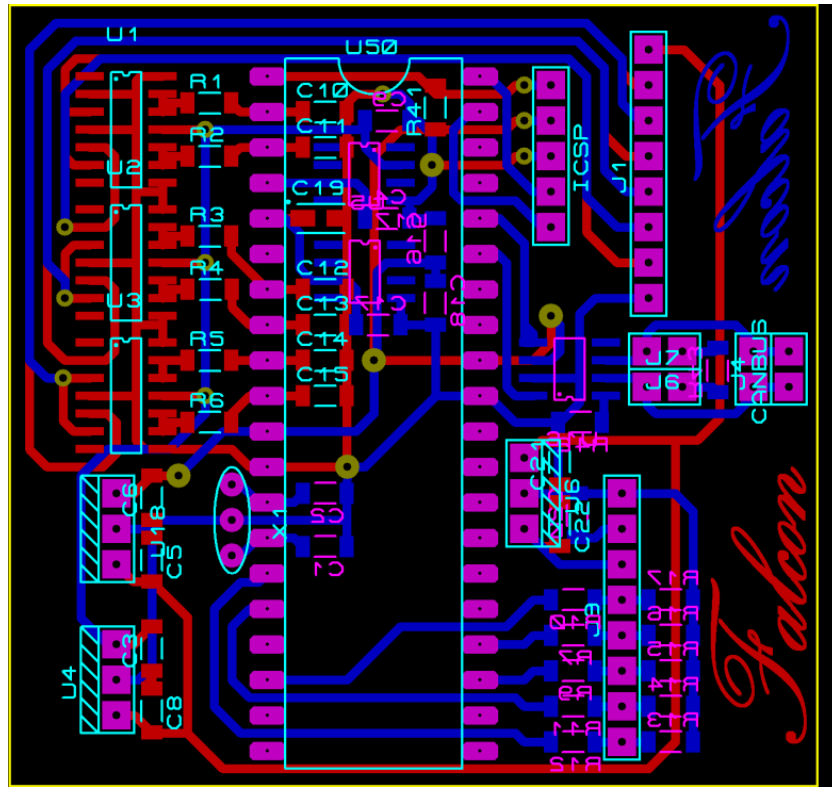
Hücre gerilimlerini ölçüm devresinin amacı batarya hücrelerinin voltajlarını fark alma yöntemi ile ölçerek can-bus haberleşmesi ile flyback konvertör kontrolcü devresine göndermektir.

Devre J1 konnektörü ile hem batarya paketine bağlanmakta hem de batarya paketi üzerinden çalışması için gerekli olan enerji girişi yapılmaktadır. INA2134 entegreleri ile fark alma işlemi yapılmış, bu entegrelerin çıkışına $1k\Omega$ direnç ve $100nF$ kondansatör koyularak RC filtre yapılmıştır. Bu sayede ölçümdeki dalgalanmalar azaltılmaya çalışılmıştır.

Testlerde kullanılan lityum polimer batarya hücrelerinin maksimum voltajının 4,2 volt ve minimum voltajının 2,7 volt olması nedeniyle daha hassas ölçüm yapabilmek için bu devrede 2,5 volt referans voltaj entegresi ADR431BRZ ve 4,5 volt referans voltaj entegresi REF194GSZ kullanılmıştır. Bu sayede devrenin ölçüm aralığı daraltılarak mikrodenetleyicinin daha hassas gerilim ölçümü yapması sağlanmıştır.

Örnekle açıklayacak olursak bu devre $(5000\text{mV}-0\text{V})/1023=4,88\text{mV}$ ölçüm yapmak yerine $(4500\text{mV}-2500\text{mV})/1023=1,95\text{mV}$ gerilim ölçüm hassasiyetine sahiptir.

Devrenin tasarımı bittikten sonra baskı devresi çizilmiştir. Baskı devre çizimi Şekil 4.60'da, çizilen baskı devrenin simülasyon programındaki 3 boyutlu görüntüsü ise ekte Şekil EK B.13'de yer almaktadır.



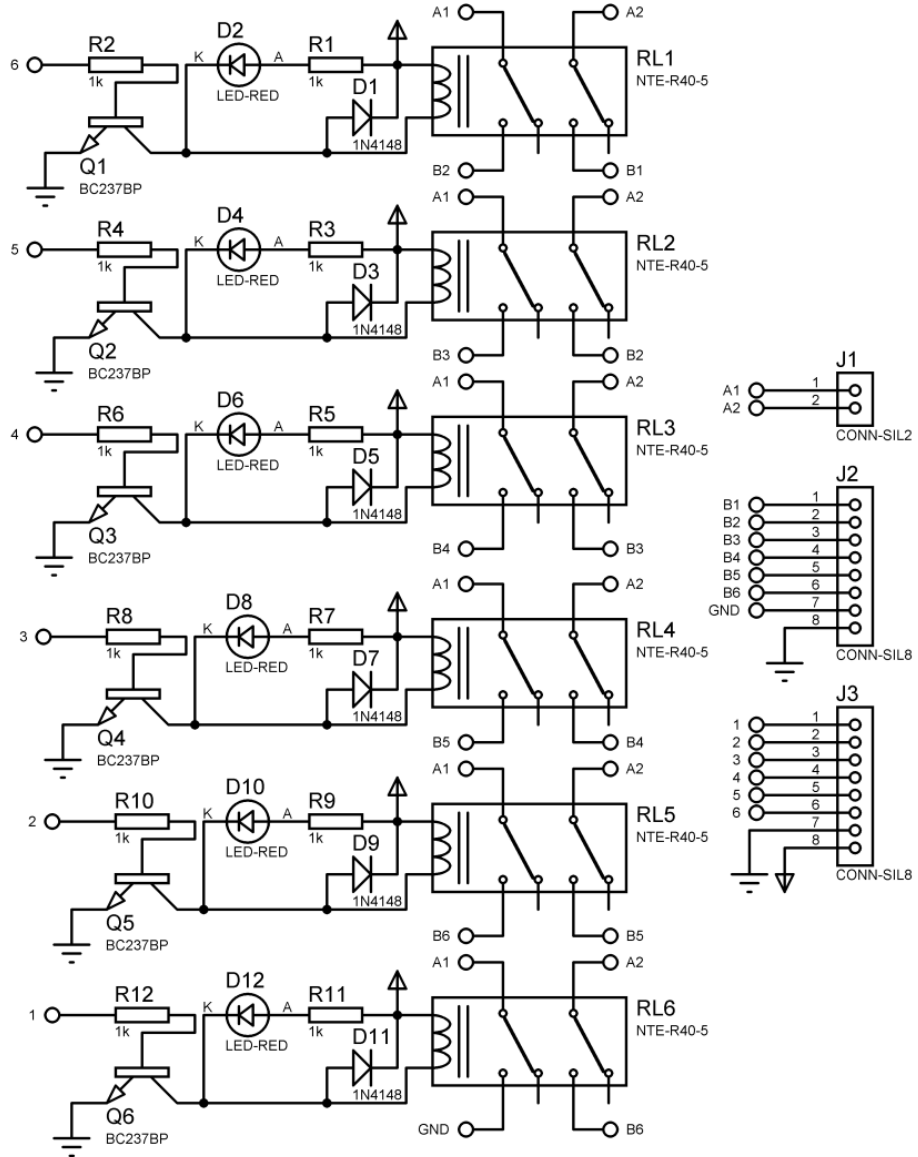
Şekil 4.60. Hücre gerilimlerini ölçüm devresi baskı devre şeması.

Tasarımı yapılan hücre gerilimlerini ölçen devrenin baskı devre kartının üretilmiş hali ve devre elemanlarının montaj hali ekte Şekil EK B.14'de gösterilmiştir.

4.5.4. Batarya Seçme Devresi

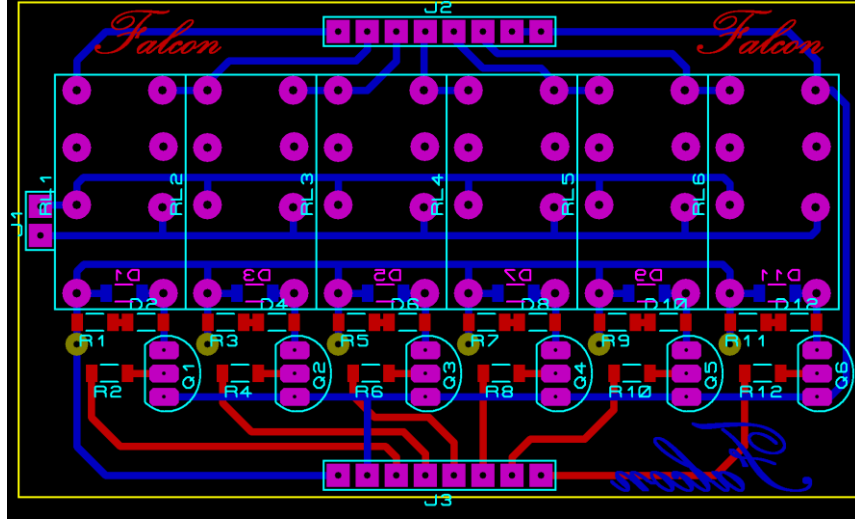
Aktif dengeleme batarya yönetim sisteminin içindeki bu devre, flyback kontrolcü devresi tarafından çalıştırılmaktadır. Flyback kontrolcü devresi seçtiği enerji dengesizliği olan batarya hücrelerini bu devre yardımı ile flyback konvertörün çıkışına bağlamaktadır.

Devre en temel bilgi olan transistörün anahtarlama elemanı olarak kullanılması mantığı ile rölelere birer birer enerji vermektedir. Enerji verilen röle kontaklarını çekerek kontaklarının bağlı olduğu batarya hücrelerini flyback konvertör devresine bağlamaktadır. Tasarımı yapılan aktif batarya yönetim sistemi 6 adet batarya hücrelerini dengeleyebildiği için bu devrede 5 voltluk çift kontaklı 6 adet röle kullanılmıştır. J1 konnektörü ile flyback konvertörün çıkışına, J2 konnektörü ile batarya paketine, J3 konnektörü ile de flyback konvertör kontrolcü devresine bağlantı yapılmaktadır. Devre şeması Şekil 4.61’de gösterilmiştir.



Şekil 4.61. Röleli bataryaya hücresi seçme devresi.

Devrenin tasarımı bittikten sonra baskı devresi çizilmiştir. Baskı devre çizimi Şekil 4.62’de, çizilen baskı devrenin simülasyon programındaki 3 boyutlu görüntüsü ekte Şekil EK B15’de yer almaktadır.



Şekil 4.62. Batarya seçme devresi baskı devre şeması.

Tasarımı yapılan hücre gerilimlerini ölçüm devresinin baskı devre kartının üretilmiş ve devre elemanlarının montaj hali ekte Şekil EK B16'de gösterilmiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında elektrikli araçlarla ilgili güncel durum özetlenmiş, elektrikli araçlarda ve güneş arabalarında kullanılan lityum batarya tabanlı batarya teknolojileri incelenmiş ve bu batarya teknolojilerin avantaj ve dezavantajlarının üzerinde durulmuştur. Batarya yönetim sisteminin fonksiyonları açıklanmış ve elektrikli araçlarda denetleme açısından ne kadar önemli olduğu vurgulanmıştır.

Bu çalışmada bataryaların daha verimli ve uzun ömürlü olabilmesi için çeşitli batarya yönetim sistemleri tasarlanmıştır. Yapılan her yeni tasarıma yenilikler eklenmiş, çalışılmış, farklı yöntemler denenmiş ve farklı tiplerdeki devre elemanları kullanılmıştır.

Tez çalışmasının ilk tasarımı olan devre Sakarya Üniversitesi'ne bağlı SAİTEM ekibinin elektrikli aracı EVrim3 ile Shell firması tarafından düzenlenen Shell Eco-Marathon Europe 2014 verimlilik yarışında test edilmiştir. Yarışta aracın bataryalarında kullanılan bu devre, batarya hücrelerini pasif dengeleme sistemi metoduyla aynı gerilimde tutmayı sağlamış ve bütün yarış boyunca başarı ile çalışmıştır.

Devrenin beslemesi için gerekli olan enerji, dengeleme yaptığı bataryalardan sağlanmaktadır. Farklı devre tasarımları ile bataryalardan sağlanan enerji azaltılmış, devrenin verimi artırılmıştır. Yapılan son tasarımda diğer batarya yönetim sistemlerine göre verimliliği arttırmak amacıyla aktif dengeleme yöntemi kullanılmıştır. Son tasarımda sistem modüller halinde tasarlanarak modüller arasındaki iletişimde Can-Bus haberleşme protokolü kullanılmıştır. Kullanılan Can-Bus haberleşme protokolü master-slave haberleşme tipinde haberleşerek birbirleri arasında veri akışı sağlamaktadır.

Ayrıca aktif batarya yönetim sisteminde, daha önce tasarımı yapılan pasif batarya yönetim sistemlerine göre referans voltaj entegreleri kullanılmıştır. Voltaj ölçüm devresi 2,5 volt referans voltaj entegresi ADR431BRZ ve 4,5 volt referans voltaj entegresi REF194GSZ sayesinde 4,88mV yerine 1,95mV gerilim ölçüm hassasiyetine ulaşılmıştır. Fly-back kontrolcü devresi ile 2,5 volt referans voltaj entegresi ADR441BRZ ve 3 volt referans voltaj entegresi ADR443BRZ sayesinde 24,43mA yerine 2,44mA akım ölçüm hassasiyetine ulaşmıştır.

Sonuç olarak üretimi yapılan aktif dengeleme özelliğine sahip batarya yönetim sistemi çeşitli frekanslarda bilgisayar ortamında simülasyonu yapılarak en verimli frekans değeri tespit edilmiştir. Yapılan simülasyonlar sonunda en iyi çalışma frekansı olarak 30 KHz değeri belirlenmiştir.

Sonrasında farklı görev çevrim sürelerinde denenerek çıkış gücü ve çıkış akımı incelenmiştir. Yapılan gerekli simülasyonlar ve değerlendirmeler sonucunda dengeleme süresini kısaltmak amacıyla %35 ile %45 görev çevrim süresi değerleri arasında çalışmanın uygun olacağı düşünülmüştür. Ayrıca sistem %35-44 görev çevrim sürelerinde 1,6W ile 2,35W arasında çıkış gücüne sahiptir. Bu değerlerdeki çıkış gücü düşük enerji kapasiteli ve düşük C değerine sahip batarya hücrelerini dengelemek için gayet uygun çıkış gücüdür.

Daha sonrasında çeşitli MOSFET'lerle yapılan simülasyonlarda istenilen çalışma değerlerinde en az kayba sahip MOSFET olarak IRF540Z serisi n kanal MOSFET kullanılmıştır. Bu simülasyonlar ve analizler sonucunda 2,1-2,2 watt çıkış gücünde sistem %90 simülasyon verimine, %88 analiz verimine sahiptir.

Bundan sonra yapılacak araştırmalarda aktif batarya yönetim sisteminin verimi, devrenin ölçüm hassasiyeti artırılabilir, State-of-Health, State-of-Charge (bataryanın doluluk oranı) hesaplanabilir. Sistem Can-Bus haberleşme protokolü ile dış dünya ile haberleştirilebilir. Farklı haberleşme protokolleri de eklenebilir. Bir bilgisayar programı yardımı ile sistem değerleri bilgisayar ortamına veya Android uygulama yapılarak Bluetooth yardımı ile akıllı telefonlara sistem bilgileri alınabilir.

EK AÇIKLAMALAR A.

PROGRAMLAMA KODU

```

#include <16f877.h> // Kullanılacak denetleyicinin başlık dosyası tanıtılıyor.
#define ADC=10 // 10 bitlik ADC kullanılacağı belirtiliyor.

//Mikro denetleyici konfigürasyon ayarları
#fuses HS // Yüksek hızlı kristal kullanımı
#fuses NOWDT // WATCHDOG TIMER kapalı
#fuses NOPROTECT // ROM bellege okumaya karsi koruma koymaz
#fuses NOBROWNOUT // Brownout reseti kapalı
#fuses NOLVP // No Low Voltage Programming.
#fuses NOPUT // No Power Up Timer
#fuses NOWRT // Program hafızasına yazma işlemi koruması kapalı
#fuses NODEBUG // ICD için DEBUG modu kapalı
#fuses NOCPD // EEPROM kod koruması kapalı
#fuses STVREN

#use delay (clock=2000000) /* Gecikme fonksiyonu için kullanılacak osilatör frekansı belirtiliyor. */

#define fast_io_a // Port yönlendirme ayarları
#define fast_io_b
#define fast_io_c
#define fast_io_d
#define fast_io_e

#use rs232(baud=9600,parity=N, xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8) //rs232 haberleşme kodu

unsigned long int bilgi[7]={0,0,0,0,0,0,0};
float voltaj[7]={0,0,0,0,0,0,0};
int i=0;
int k=0;
int En_dusuk;
int n=0;

void main ( )
{
setup_spi(SPI_SS_DISABLED); // SPI birimi devre dışı
setup_timer_1(T1_DISABLED); // T1 zamanlayıcısı devre dışı
setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1); // T2 zamanlayıcısı devre dışı
setup_CCP1(CCP_OFF); // CCP1 birimi devre dışı
setup_CCP2(CCP_OFF); // CCP2 birimi devre dışı

set_tris_a(0xff); // A portu komple giriş
set_tris_b(0x00); // B portu komple çıkış
set_tris_c(0x00); // C portu komple çıkış
set_tris_d(0x00); // D portu komple çıkış
set_tris_e(0xff); // E portu komple giriş

setup_adc(adc_clock_div_32); // ADC clock frekansı fosc/32
setup_adc_ports(ALL_ANALOG); // Tüm AN girişleri analog

output_b(0x00); // çıkışlar sıfırlanıyor
output_c(0x00);
output_d(0x00);

```

```

while(TRUE) // sonsuz döngü
{
  // batarya gerilimleri ölçülüyor
  for(i=0;i<6;i++)
  {
    set_adc_channel(i); // adc ayarlanıyor
    delay_us(20);
    bilgi[i]=read_adc(); // adc okunuyor
    voltaj[i]=0,0048828125*bilgi[i]; /*maksimum gerilim=5 volt  $5/2^{10} = 0,0048828125$  bu katsayı ile dijitalden analoga çevriliyor */
    printf("batarya %d: %03f V\n\r", i+1,voltaj[i]); //sanal ekrana yazılıyor
  }
  output_high(pin_d5); // mikrodenetleyici led testi
  if((En_dusuk-3.7<0.001))
  { output_high(pin_d4);
  }
  else
  {
    output_low(pin_d4);
  }
  for(k=0;k<6;k++) // en küçük batarya gerilimi bulunuyor
  {
    for(i=0;i<6;i++)
    {
      if(k==0)
      {
        goto son;
      }
      if(voltaj[k]< voltaj[n])
      {
        son:
        if(voltaj[k] < voltaj[i])
        {
          En_dusuk = voltaj[k];
          n=k;
        }
      }
    }
  }
  printf("En dusuk batarya : %03f\n\r",voltaj[n]); // fazla olan bataryaların gerilimleri düşürülüyor

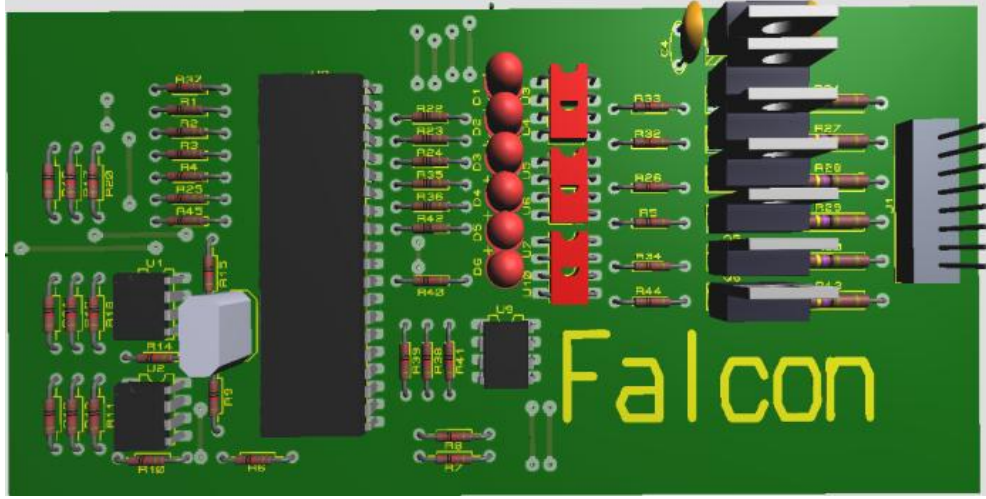
  if((voltaj[0]-voltaj[n]) > 0.01)
  {
    output_high(pin_b7);
  }
  else
  {
    output_low(pin_b7);
  }
  if((voltaj[1]-voltaj[n]) > 0.01)
  {
    output_high(pin_b6);
  }
  else

```

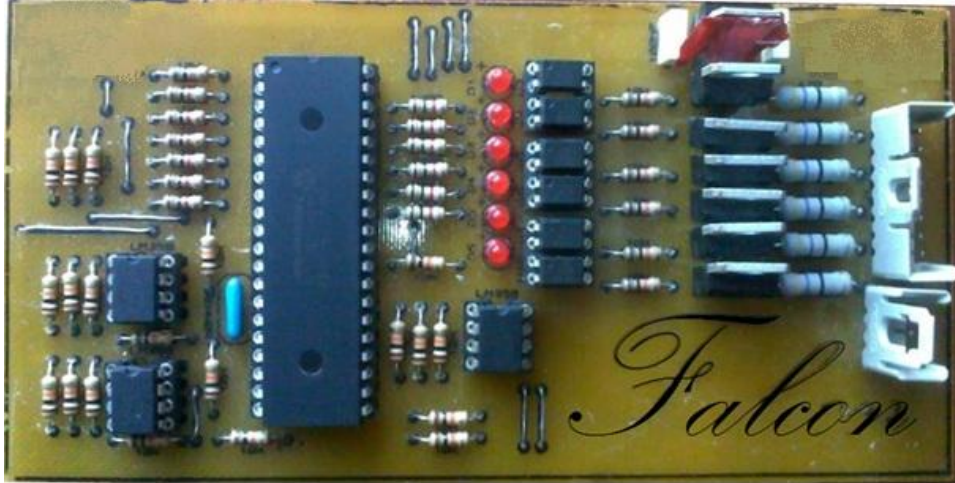
```
{
output_low(pin_b6);
}
if((voltaj[2]-voltaj[n]) > 0.01)
{
output_high(pin_b5);
}
else
{
output_low(pin_b5);
}
if((voltaj[3]-voltaj[n]) > 0.01)
{
output_high(pin_c5);
}
else
{
output_low(pin_c5);
}
if((voltaj[4]-voltaj[n]) > 0.01)
{
output_high(pin_c4);
}
else
{
output_low(pin_c4);
}
if((voltaj[5]-voltaj[n]) > 0.01)
{
output_high(pin_d3);
}
else
{
output_low(pin_d3);
}
}
```

EK AÇIKLAMALAR B.

**GERÇEKLEŞTİRİLEN TASARIMLARA AİT SANAL VE GERÇEK
GÖRÜNTÜLER**



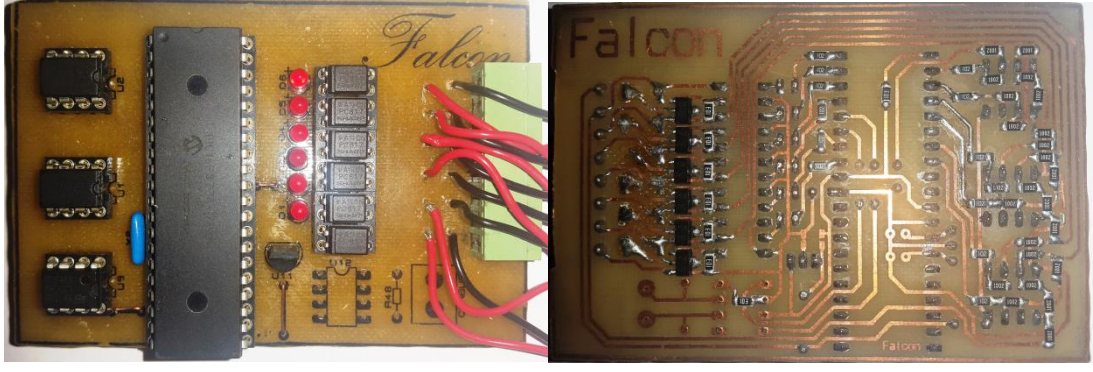
Şekil EK B.1. Tasarım 1: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi sanal görüntüsü.



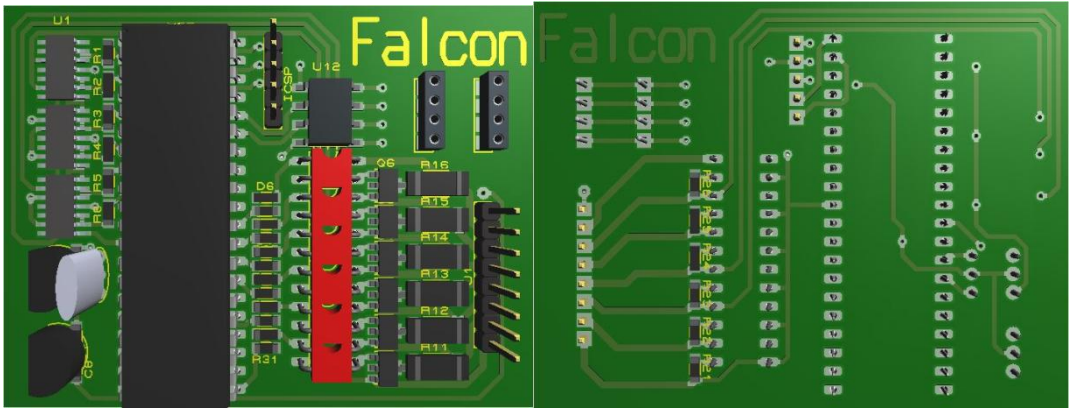
Şekil EK B.2. Tasarım 1: 6 hücreli batarya yönetim sistemi devresi fotoğrafı.



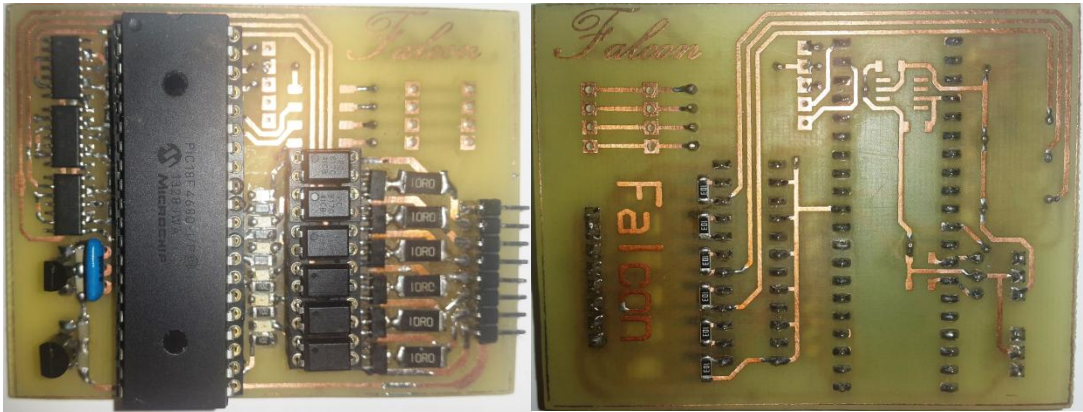
Şekil EK B.3. Tasarım 2: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi sanal görüntüsü.



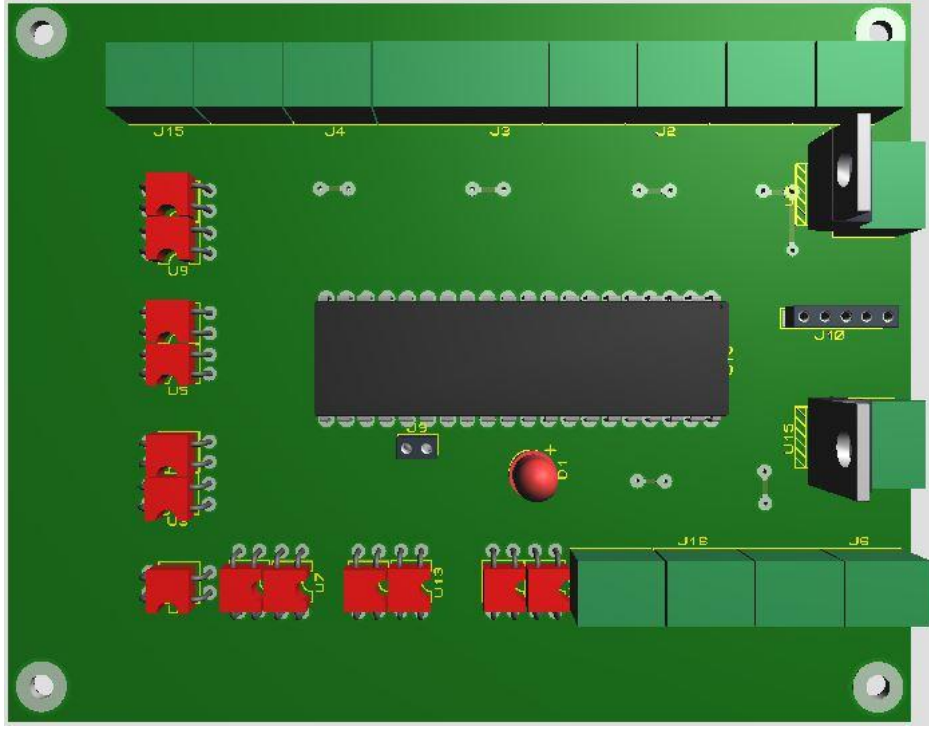
Şekil EK B.4. Tasarım 2: 6 hücreli batarya yönetim sistemi devresi fotoğrafı.



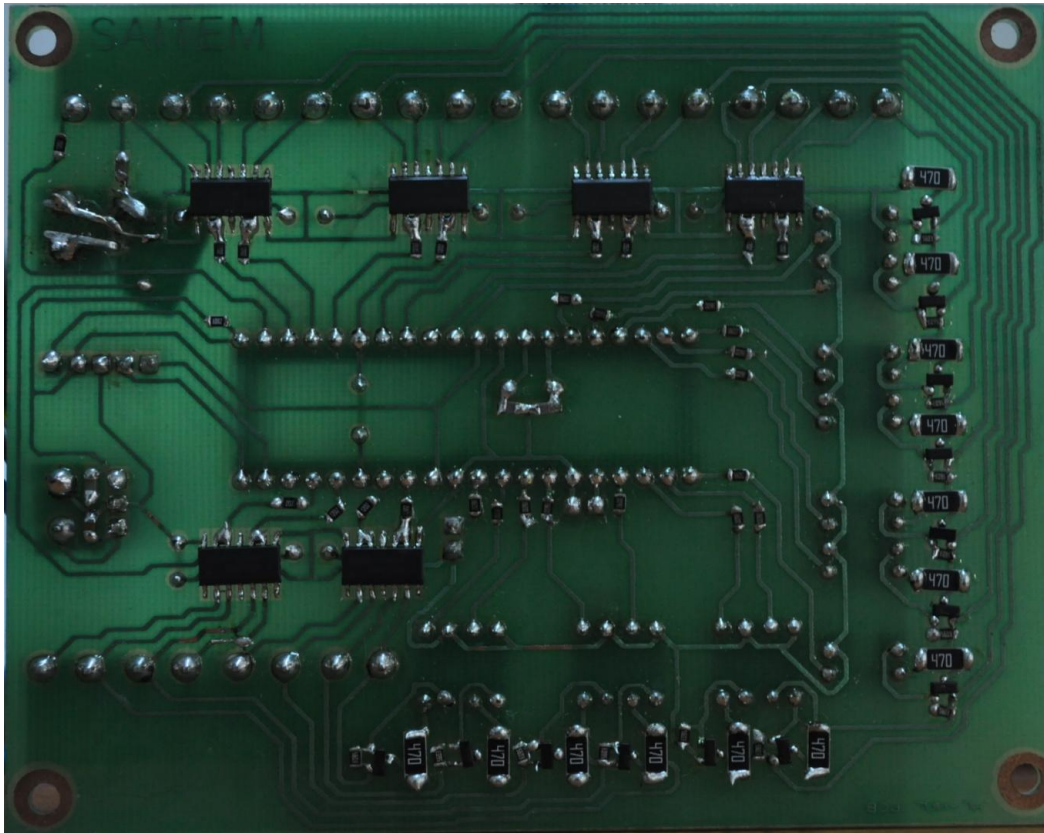
Şekil EK B.5. Tasarım 3: 6'lı batarya yönetim sistemi devresi sanal görüntüsü.



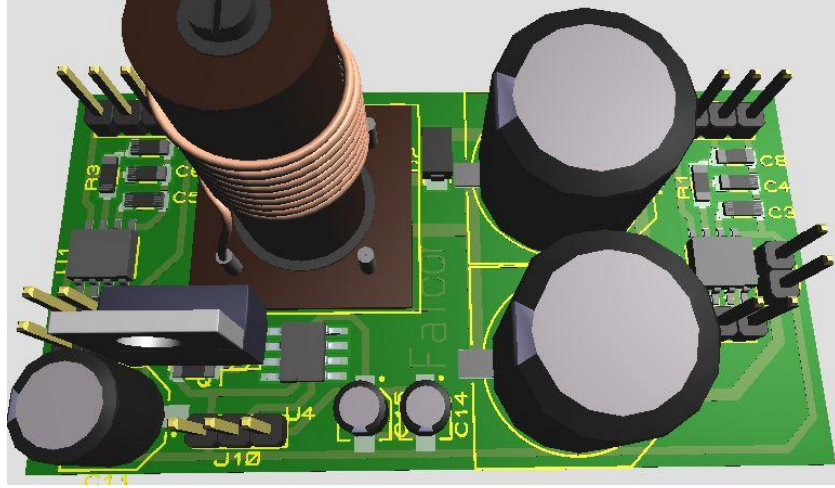
Şekil EK B.6. Tasarım 3: 6 hücreli batarya yönetim sistemi devresi fotoğrafı.



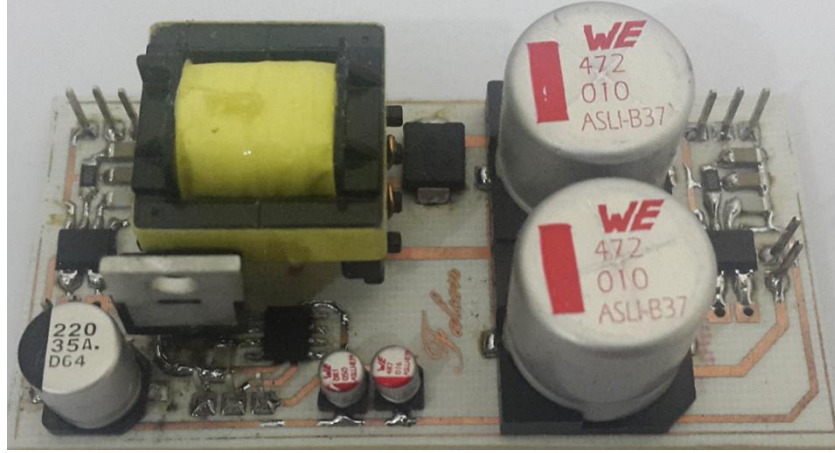
Şekil EK B.7. Tasarım 4: 13'lü batarya yönetim sistemi devresi sanal görüntüsü.



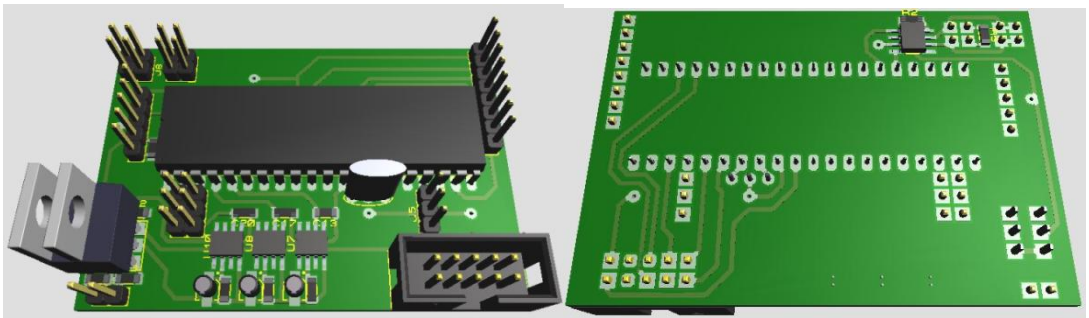
Şekil EK B.8. Tasarım 4: 13 hücreli batarya yönetim sistemi devresi fotoğrafı.



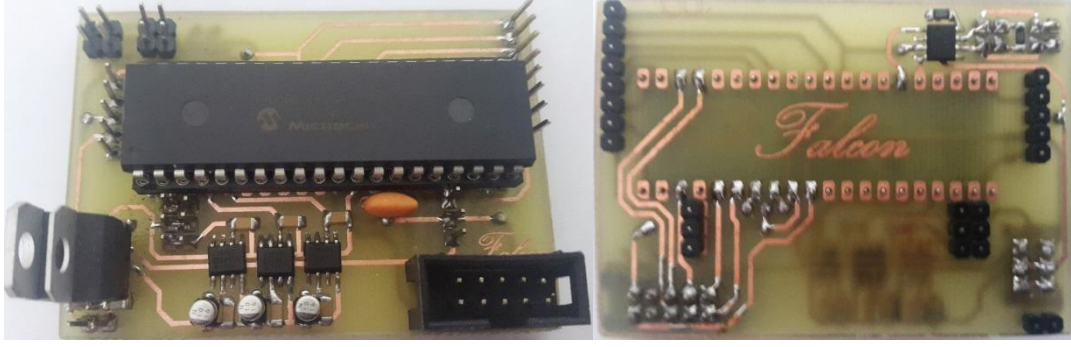
Şekil EK B.9. Flyback konvertör devresi sanal görüntüsü.



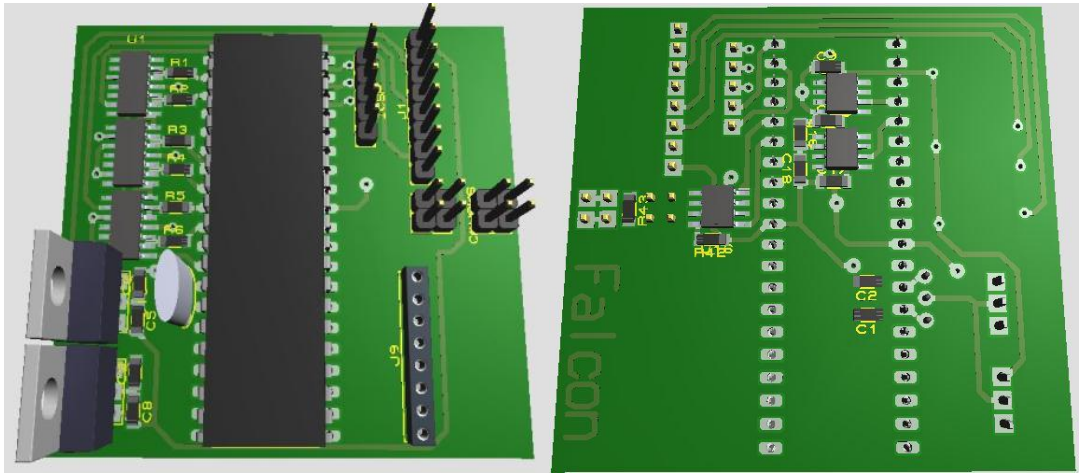
Şekil EK B.10. Flyback konvertör devresi.



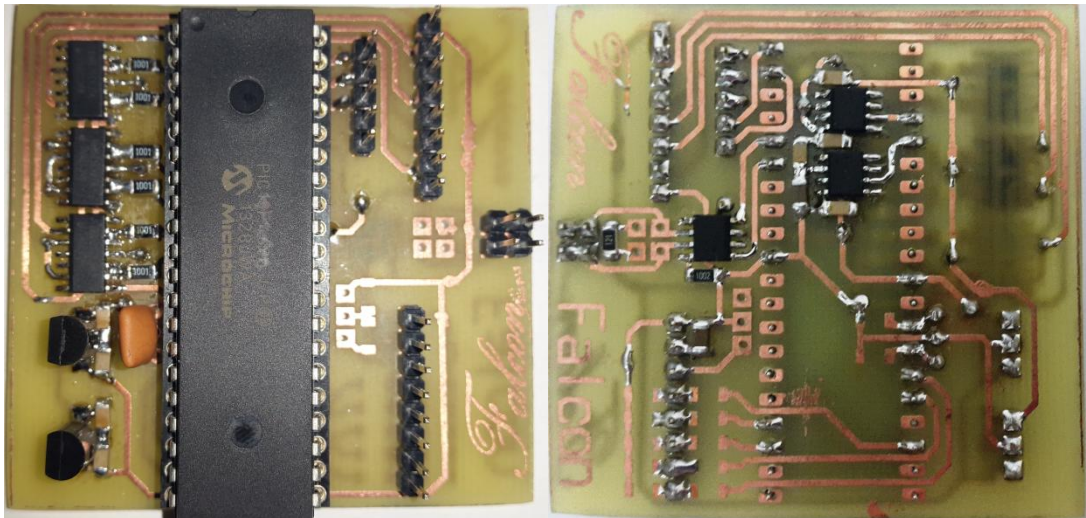
Şekil EK B.11. Flyback konvertör kontrol devresi sanal görüntüsü.



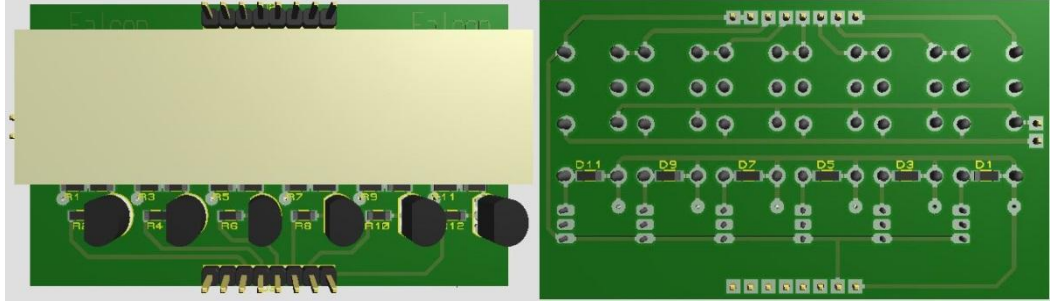
Şekil EK B.12. Flyback konvertör kontrol devresi.



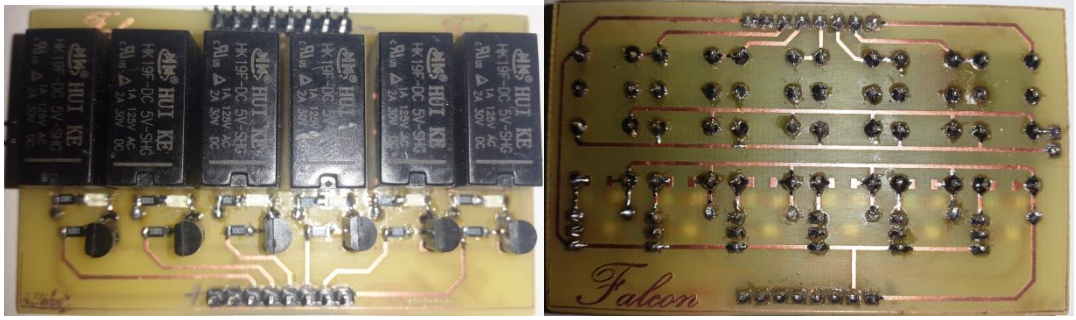
Şekil EK B.13. Hücre gerilimlerini ölçüm devresi sanal görüntüsü.



Şekil EK B.14. Hücre gerilimlerini ölçüm devresi.



Şekil EK B.15. Batarya seçme devresi sanal görüntüsü.



Şekil EK B.16. Batarya seçme devresi.

EK AÇIKLAMALAR C.

FLY-BACK TRANSFORMATÖR VERİ SAYFASI

KAYNAKLAR

1. Kayıklı, T., “Elektrikli araçlarda kullanılan lityum-polimer batarya için şarj cihazı geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, 10-80 (2008).
2. Baykal, T., “Lityum polimer bataryalar için batarya yönetim sistemi geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 10-70 (2013).
3. Bae, J., Koo, B., Kim, H., and Jang, D., "The CAN communication application on the BMS", **2013 International Conference on ICT Convergence (ICTC)**, Jeju, 1140-1145 (2013).
4. Zheng, M., Qi, B., and Wu, H., “A Li-ion battery management system based on CAN-bus for electric vehicle”, **3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, (ICIEA 2008)**, Singapore, 1180-1184 (2008).
5. Chatzakis, J., Kalaitzakis, K., Voulgaris, N. C., and Manias, S. N., “Designing a new generalized battery management system”, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 50 (5): 990-999 (2003).
6. Kim, M. Y., Kim, C. H., Kim, J. H., and Moon, G. W., “A modularized BMS with an active cell balancing circuit for lithium-ion batteries in V2G System” **Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)**, Seoul, 401-406 (2012).
7. Reynaud, J. F., Carrejo, C. E., Gantet, O., Aloïsi, P., Estibals, B., and Alonso, C., “Active balancing circuit for advanced lithium-ion batteries used in photovoltaic application” **International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'11)**, Las Palmas, 682-688 (2010).
8. Nafiz, S., Alcı, M., ve Yıldız, N., “Şarj dengeleme sistemleri için çift yönlü flyback devresi tasarımı”, **Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı**, Niğde, 923-926 (2013).
9. Aldoğan, E., “Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi donanımı tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, 10-50 (2012).
10. Soydaş, Ş., ve Fidan, B. “Lityum polimer bataryalar için batarya yönetim sistemi araştırma ve uygulaması”, **Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı**, Kocaeli, 967-972 (2014).

11. Soydaş, Ş., ve Fidan, B. “Sıfır gerilim anahtarlama düşük güçlü induksiyon ısıtıcı araştırma ve uygulaması”, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, Kocaeli, 963-966 (2014).
12. Soydaş, Ş., Söğüt, E., ve Yakupoğlu, Y., “Usb kontrollü elektro-pnömatik vinç”, Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi*, Mersin, (2012).
13. Zenginal O., “Batarya yönetim sistemi”, Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği*, Sakarya, 30-60 (2013).
14. Sayın, A. A, ve Yüksel İ, “Elektrikli Renault Fluence aracı lityum-iyon bataryasının modellenmesi ve batarya yönetimi”, *12. Otomotiv ve Üretim Teknolojileri Sempozyumu*, 75-82, Bursa (2011).
15. İnternet: Switching Power Supplies Training and Development Support, “Design of Switch Mode Power Supplies”, http://schmidt-walter-schaltzerteile.de/smpe_e/smpe_e.html/ (2015).
16. İnternet: Haberleşme Protokolleri, “Can-Bus Nedir? Nasıl Oluşur?”, <http://notofis.com/showthread.php?tid=313>, (2015).
17. İnternet: Learn About Batteries, “How do Lithium Batteries Work?”, http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries, (2015).
18. İnternet: Kokam Co. Ltd., “Superior Lithium Polymer Battery (SLPB)”, www.kokam.com/ (2015).
19. İnternet: Panasonic Ltd., “Lithium-ion Batteries”, <http://industrial.panasonic.com/ww/products/batteries/secondary-batteries/lithium-ion/> (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Şahin SOYDAŞ 1990'da Gümüşhane'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Kocaeli Endüstri Meslek Lisesi, Elektronik Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2008 yılında Mersin Üniversitesi Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'ne girdi; 2012'de "iyi" derece ile mezun oldu. Halen; 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: 42 Evler Birnur-1 Sitesi C-Blok
Kat:2 Daire:4 İzmit / KOCAELİ
Tel: (262) 335 29 66
E-posta: sahinsoydas@saitem.org